

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění montáže



Zkoušky nástrojů z řezné keramiky na simulátoru přerušovaného řezu

Ceramic cutting Tool Tests at Interrupted Cut Simulator

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Robert ČEP, Ph.D.

Student:

Bc. Jan REINER

Ostrava, 2009

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě:

.....
Jan REINER

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....

Jan REINER

Na Sídlišti 285
Lutín
78349

Poděkování

Rád bych chtěl poděkovat panu Ing. Robertu Čepovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při vypracování této diplomové práce.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jan REINER. Zkoušky nástrojů z řezné keramiky na simulátoru přerušovaného řezu. Ostrava: Katedra obrábění a montáže 346, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 73 s.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Robert ČEP, Ph.D.

Tato diplomová práce se zabývá problematikou testování životnosti nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu.

V úvodu je práce zaměřena na přehled řezných materiálů, jejich vlastnosti a aplikační oblasti jednotlivých materiálů. Samostatná kapitola je věnována nástrojům z řezné keramiky. Dále jsou popsány jednotlivé druhy testu při přerušovaném řezu.

Pro tuto zkoušku byla použita metoda sledování počtu rázů při podélném soustružení na simulátoru přerušovaného řezu. Testovány byly 4 druhy řezné keramiky od výrobce ISCAR, 2 oxidové keramiky (IN11, IN22) a 2 na bázi nitridu křemíku (IS8, IS80). Obráběnými materiály byla ocel 12 050 (C45) a 15 128 (13MoCrV6).

V poslední části práce jsou uvedeny naměřené výsledky, kde byly sledovány počty rázů při různé kombinaci řezných parametrů. Diplomová práce je doplněna grafickými závislostmi a fotkami opotřebení vyměnitelných destiček.

ANOTATION OF DIPLOMA THESIS

Jan REINER, BSc. Ceramic Cutting Tool Tests at Interrupted Cut Simulator. Ostrava: Department of Machining and Assembly – 346, Faculty of Mechanical Engineering VSB – Technical University Ostrava 2009. 73 p.

Head of diploma thesis: Robert ČEP, Ph.D., MSc.

This diploma thesis deals problems of tool life tests of ceramic cutting tools at interrupted cut at turning.

The work is sight to summary of cutting materials, their application areas in introduction. Special chapter is presentation of ceramics cutting tools. Next chapter are described individual types tests at interrupted cut.

For this a test was enjoyment method of monitoring of shock numbers at slide turning at interrupted cut simulator. It was measured 4 types of ceramics cutting from producer ISCAR, 2 oxide ceramic (IN11, IN22) and 2 silicon nitride based (IS8, IS80). Machined materials were steel 12 050 (C45) and 15 128 (13MoCrV6).

At last chapter work are the evaluation of measuring data, where were monitoring of shock numbers at different combination parameter of cutting. The diploma thesis is documented with graphical relations and pictures of cutting insert's tool wear.

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	3
1 ÚVOD	5
2 PŘEHLED ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ	6
2.1 Základní vlastnosti řezných materiálů	6
2.2 Požadavky kladené na nástrojové materiály	9
2.2.1 Odolnost proti opotřebení	10
2.2.2 Houževnatost nástrojového materiálu.....	10
2.2.3 Tvrdost za tepla	11
2.2.4 Odolnost vůči tepelnému šoku.....	11
2.2.5 Tepelná roztažnost	11
2.2.6 Tepelná vodivost.....	11
3 ŘEZNÁ KERAMIKA	12
3.1 Rozdělení řezné keramiky.....	12
3.2 Výroba řezné keramiky	14
3.2.1 Výroba oxidové keramiky Al_2O_3	14
3.2.2 Výroba nitridové keramiky Si_3N_4	15
3.2.3 Vyztužení keramiky whiskery.....	16
3.3 Výchozí materiály pro výrobu ŘK a jejich výroba a vlastnosti	16
3.3.1 Oxid hlinitý (Al_2O_3)	16
3.3.2 Oxid zirkoničitý (ZrO_2).....	17
3.3.3 Nitrid křemíku (Si_3N_4).....	17
3.4 Vlastnosti řezné keramiky	17
3.5 Podmínky efektivního využití řezné keramiky	19
3.6 Využití řezné keramiky v praxi	20
3.6.1 Soustružení řeznou keramikou	21
3.6.2 Frézování řeznou keramikou	21
4 PŘEHLED TESTŮ PŘI PŘERUŠOVANÉM ŘEZU.....	24
4.1 Příčné soustružení (čepový test).....	24
4.2 Podélné soustružení (lištový test)	25
4.3 Čelní frézování	25
4.4 Vodorovné obrázení.....	26
5 VLIV TEPELENÝCH A MECHANICKÝCH RÁZŮ	28
5.1 Tepelné rázy	28

5.2	Mechanické rázy	30
5.3	Trvanlivost nástroje v přerušovaném řezu ohřívané plamenovým hořákem, působení tepelných a mechanických rázů	30
6	METODIKA VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK.....	33
6.1	Podélné soustružení (lišťový test)	33
6.1.1	Sestavení přípravku	34
6.1.2	Úprava lišt před vlastním měřením	34
6.2	Obráběcí stroj	35
6.3	Materiál obrobku (lišť).....	35
6.3.1	Ocel 12 050 (C45)	35
6.3.2	Ocel 15 128 (13MoCrV6).....	36
6.4	Testované materiály VBD z ŘK.....	36
6.4.1	Nástrojový držák VBD (řezná geometrie)	37
7	VYHODNOCENÍ PROVEDENÝCH ZKOUŠEK	39
7.1	Vyhodnocovací zařízení.....	39
7.1.1	Mikroskop INTRACO MICRO	39
7.2	Řezné parametry.....	39
7.3	Sledování počtu rázu	40
7.4	Vyhodnocení testů pro materiál lišt 15 128 (13MoCrV6).....	41
7.4.1	Grafické závislosti VBD ISCAR pro materiál 15 128.....	43
7.4.2	Ukázky opotřebení keramiky ISCAR pro materiál 15 128.....	49
7.4.3	Zhodnocení opotřebení VBD ISCAR pro materiál lišt 15 128	55
7.5	Vyhodnocení testů pro materiál lišt 12 050 (C45)	56
7.5.1	Grafické závislosti VBD ISCAR pro materiál 12 050.....	57
7.5.2	Ukázky opotřebení keramiky ISCAR pro materiál 12 050.....	63
7.5.3	Zhodnocení opotřebení VBD ISCAR pro materiál lišt 12 050	69
8	ZÁVĚR.....	70
	Seznam použité literatury.....	72

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značení	Význam	Jednotky
13MoCrV6	Značka oceli 15 128 dle ČSN EN 10027-1	[-]
a_p	Hloubka řezu	[mm]
C45	Značka oceli 12 050 dle ČSN EN 10027-1	[-]
CA	Oxidická řezná keramika	[-]
CM	Směsná oxidová keramika s přísadami	[-]
CN	Nitridová keramika	[-]
CSNR	Označení druhu a tvaru držáku	[-]
CVD	Chemical Vapor Deposition	[-]
D	Obrábění průměr	[mm]
E	Modul pružnosti	[MPa]
f	Posuv	[mm]
GAČR	Grantová agentura České republiky	[-]
HIP	Vysokoteplotní izostatické lisování	[-]
HRA	Tvrdost podle Rockwella (kužel)	[-]
HRC	Tvrdost podle Rockwella	[-]
HSC	High Speed Cutting	[-]
HV	Tvrdost podle Vickerse	[-]
ISO	International Organization for Standardization	[-]
KNB	Kubický nitrid bóru	[-]
l	Délka	[mm]
PKNB	Polykrystalický kubický nitrid bóru	[-]
PVD	Physical Vapor Deposition	[-]
Re	Mez kluzu	[MPa]
RO	Rychlořezná ocel	[-]
Rm	Mez pevnosti	[MPa]
SK	Slinutý karbid	[-]
SNGN	Označení druhu a tvaru vyměnitelné břitové destičky	[-]
VB	Opotřebení na hřbetě	[mm]

VBD	Vyměnitelná břitová destička	[-]
v_c	Řezná rychlost	[m.min ⁻¹]
ΔT	Teplotní gradient	[K]
IN11	Druh bílé oxidové řezné keramiky výrobce ISCAR	[-]
IN22	Druh černé oxidové řezné keramiky výrobce ISCAR	[-]
IS8	Druh nitridové řezné keramiky výrobce ISCAR	[-]
IS80	Druh nitridové řezné keramiky s povlakem výrobce ISCAR	[-]
IN11_1_A	Druh destičky_číslo destičky_označení břitu destičky	[-]
α_o	Ortogonální úhel hřbetu	[°]
γ	Součinitel teplotní roztažnosti	[K ⁻¹]
γ_0	Ortogonální úhle čela	[°]
ε_r	Úhle špičky	[°]
κ_r	Úhel nastavení hlavního ostří	[°]
λ_s	Úhel sklonu ostří	[°]

1 ÚVOD

V dnešní době existuje široký sortiment řezných materiálů, od nástrojových ocelí až po syntetický diamant. Je to důsledek celosvětového dlouhodobého intenzivního výzkumu a vývoje řezných materiálů. Prakticky každý nový druh nástrojového materiálu zaznamenal posunutí použitelných řezných rychlostí k vyšším hodnotám. V současné době, ani v blízké budoucnosti nelze očekávat objevení zcela nového řezného materiálu. Proto se výzkumné týmy všech významných výrobců zaměřují především na zdokonalování technologie výroby a specifikaci optimálního využití již známých materiálů, s přesným vymezením aplikačních oblastí. [2]

Efektivnost při třískovém obrábění lze zvyšovat zkracováním strojních časů, zvyšováním řezných podmínek a používáním nových progresivních řezných materiálů. Výzkum v této oblasti se dnes nejvíce zaměřuje na využití takových řezných materiálů, které při značné otěruvzdornosti dobře snášejí tepelné a dynamické namáhání při velkých řezných rychlostech i posuvech a zároveň si zachovávají delší trvanlivost břitu. Umožňují tak plně využít výkony obráběcích strojů při současném zkracování neproduktivních časů, způsobovaných častou výměnou nástrojů.

V posledních letech prožila řezná keramika intenzivní vývoj, byly zlepšeny některé její vlastnosti. Následkem toho bylo rozšíření jejích řezných aplikací, a to nejen u obrábění s plynulým řezem (soustružení), ale i u obrábění s řezem přerušovaným (frézování). Pro využití těchto výkonných řezných materiálů musí mít stroje dostatečný výkon a rozsah otáček, vysokou tuhost a přesnost chodu vřetene.

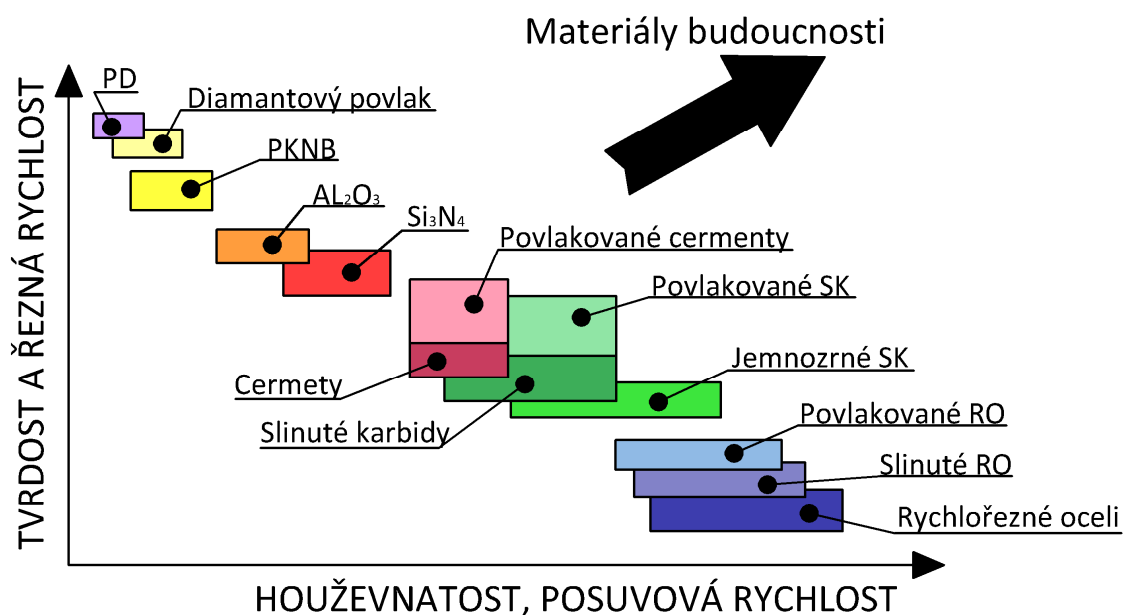
Hlavním cílem mé diplomové práce bylo navržení a praktické provedení zkoušek houževnatosti při přerušovaném řezu u vybraných druhů řezné keramiky od výrobce ISCAR.

2 PŘEHLED ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ

2.1 Základní vlastnosti řezných materiálů

Aplikační oblasti materiálů pro řezné nástroje jsou vymezeny jejich fyzikálními (měrné hmotnost, velikost zrna, součinitel tření), chemickými (inertnost, stálost), tepelnými (teplota tání, pracovní teplota, tepelná vodivost, délková roztažnost) a mechanickými vlastnostmi (tvrdost, modul pružnosti, pevnost v tlaku a v ohybu, lomová houževnatost).

Každý řezný materiál má svoje specifické vlastnosti, které můžeme vyjádřit vztahem (řezná rychlost – posuvová rychlost), jenž odpovídá vztahu mezi jejich základními vztahy (tvrdost a houževnatost) obr 2.1



Obr. 2.1 Vliv mechanických vlastností nástrojového materiálu na pracovní podmínky

Rychlořezné oceli (RO) disponují nejvyšší houževnatostí, ale jejich tvrdost oproti ostatním řezným materiálům je nízká. Proto jsou RO použity na výrobu nástrojů určených k obrábění nízkými řeznými rychlostmi a pro tvarově složité nástroje, které nemohou být vyrobeny z ostatních řezných materiálů.

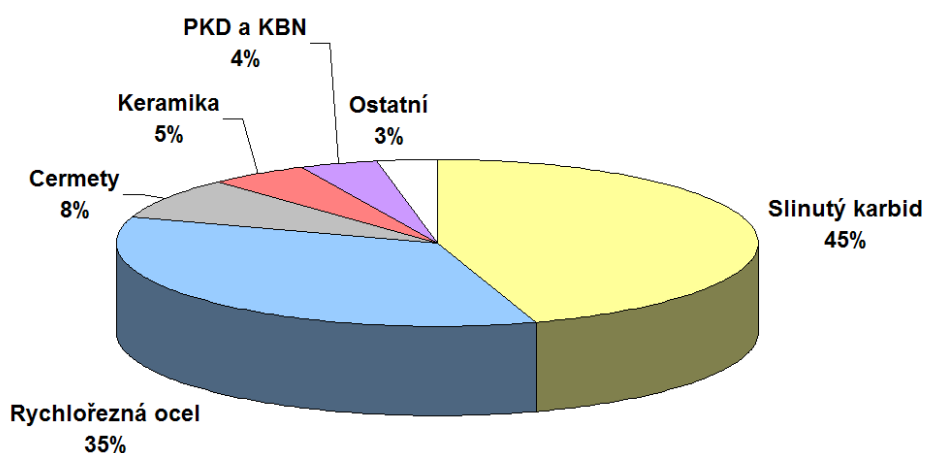
Slinuté karbidy (SK) mají nejvyšší modul pružnosti, ohybovou pevnost a lomovou houževnatost, proto jsou používány pro obrábění vysokými posuvovými rychlostmi a pro přerušované řezy. Jejich termomechanická stabilita neumožňuje aplikaci ve vyšších rychlostech.

Povlakové slinuté karbidy lze považovat za kompozitní materiály. Jejich složení relativně houževnatého karbidového podkladu a tvrdého povlaku (karbidy, nitridy a oxidy) dávají povlakovaným SK nejširší aplikace při vysokých řezných i posuvových rychlostech, umožňující velké úběry materiálu vhodné i pro přerušované řezy.

Cermety jsou využity při vyšší posuvové rychlosti než má řezná keramika a pro řezné rychlosti na úrovni slinutých karbidů. Vzhledem k nižší houževnatosti jsou cermety použity na lehké a střední řezy. Při vyšších posuvech se začíná projevovat nižší tepelná vodivost, čímž dochází na špičce nástroje k rychlému plastickému porušení. Cermety jsou využívány při obrábění korozivzdorných ocelí.

Řezná keramika (ŘK) na bázi Al_2O_3 se používá pro obrábění vysokými řeznými rychlostmi a nízkými posuvovými rychlostmi, má vysokou tvrdost za tepla a vysokou termomechanickou stabilitu, ale nízkou houževnatost. ŘK na bázi Si_3N_4 má vyšší houževnatost, což umožňuje použití vyšších posuvových rychlostí. ŘK je vhodná pro obrábění šedých litin, ale nehodí se pro obrábění tvárných litin a ocelí, výjimku tvoří směsná oxidická keramika typu $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$, která vykazuje rychlé opotřebení.

Syntetický diamant a kubický nitrid bóru (KBN) mají nejvyšší tvrdost a vynikající odolnost proti opotřebení. Jejich nevýhodou je vysoká pořizovací cena nástroje, proto jsou používány na speciální případy obrábění. Hlavní aplikací diamantu je obrábění neželezných slitin, a to především na bázi hliníku.



Obr. 2.2 Světová produkce řezných materiálů

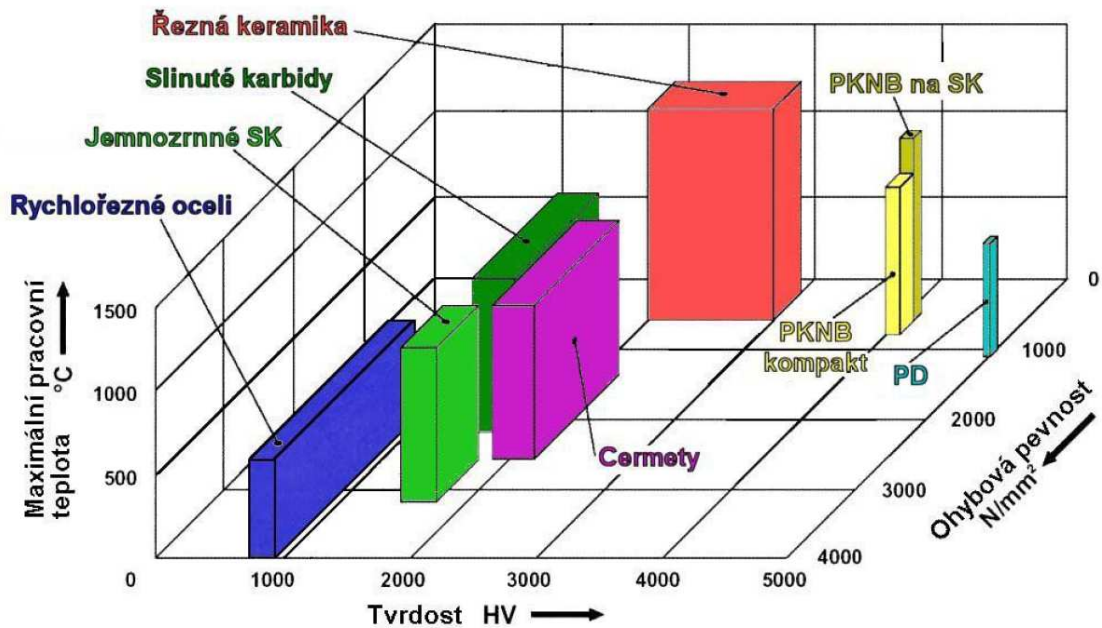
Tab. 2.1 Značení nástrojových materiálů podle normy ISO 513 [3]

Nástrojový materiál		Symbol
Nepovlakované slinuté karbidy s obsahem primárního WC		HW
Nepovlakované cermety s obsahem TiC nebo TiN nebo obou		HT
Povlakované slinuté karbidy a cermety		HC
Řezná keramika	Oxidická ŘK s obsahem primárního Al_2O_3	CA
	Směsná ŘK na bázi Al_2O_3 s neoxidickými přísadami	CM
	Neoxidická ŘK s obsahem primárního Si_3N_4	CN
	Povlakovaná ŘK	CC
Supertvrdé materiály	Polykrystalický diamant	DP
	Polykrystalický kubický nitrid boru	BN

Tab. 2.2 Porovnání některých vlastností řezných materiálů [1]

Řezný materiál	Tvrdost HV	Pevnost v tlaku [MPa]	Pevnost v ohybu [MPa]	Teplotní odolnost [°C]
RO	800-1000	2500-3500	2500-4500	560-610
SK	1200-1900	4000-5600	1100-2200	900-1100
ŘK	3500-4500	3500-4500	500-900	1300-1600
KBN	4500-6000	3000-5000	660-1000	1500
Diamant	6000-8000	6000-8000	500-1000	320-720

Na (obr. 2.3) jsou potom znázorněny vlastnosti řezných materiálů graficky.



Obr. 2.3 Hodnoty vybraných vlastností řezných materiálů [2]

2.2 Požadavky kladené na nástrojové materiály

Vývoj a neustálé zlepšování vlastností řezné keramiky umožňuje její neustálé všestranné využití jako řezného materiálu.

V celosvětovém měřítku nástrojových materiálů zaujímá SK dominantní postavení. Řezná keramika je nasazována pouze v oblastech, kde nelze produktivně využít slinutý karbid.

V dnešní době je kladen největší důraz na zkracování výrobních časů a zvyšování jakosti výrobků. Řezné podmínky mají největší vliv na celkový výrobní čas. K tomu je potřeba, aby řezný materiál splňoval hlavní požadavky.

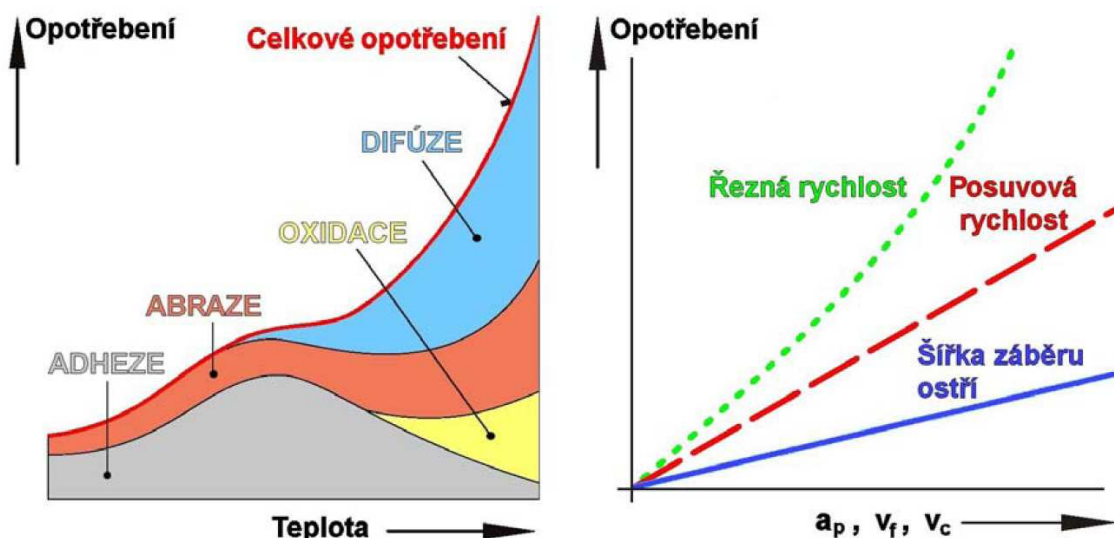
- odolnost proti opotřebení,
- houževnatost nástrojového materiálu,
- tvrdost za tepla,
- odolnost vůči tepelnému šoku,
- tepelná roztažnost,
- tepelná vodivost.

2.2.1 Odolnost proti opotřebení

Proces obrábění je složitý děj, který závisí na mnoha faktorech, fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu, druhu operace, geometrii nástroje, pracovních podmínkách, řezném prostředí atd. Na jeho průběh působí mnoho odlišných fyzikálně chemických jevů (mechanismus opotřebení).

Základní mechanizmy opotřebení:

- abraze,
- adheze,
- difúze,
- oxidace,
- plastická deformace,
- křehký lom.



Obr. 2.4 Vliv teploty na jednotlivé mechanizmy opotřebení a vliv řezných podmínek na opotřebení [3]

2.2.2 Houževnatost nástrojového materiálu

Z důvodů vyšších nároků na obrábění (vysoké řezné rychlosti, obrábění tvrdých materiálů, přerušovaný řez) je snaha, aby houževnatost nástrojového materiálu byla co nejvyšší, a to z důvodu porušení břitů nástroje křehkým lomem. Zároveň je taky třeba, aby řezný materiál měl dostatečnou tvrdost, která by zajišťovala odolnost vůči opotřebení.

Tento problém částečně řeší depozice tenkých vrstev. Povlaky dávají určitým materiálům tvrdý a odolný povrch proti opotřebení a zachovává si houževnatost jádra.

2.2.3 Tvrdost za tepla

Během obráběcího procesu je téměř veškerá práce transformována na teplo, které ovlivňuje řezný proces protože:

- negativně působí na řezné vlastnosti,
- ovlivňuje mechanické vlastnosti obráběného materiálu,
- ovlivňuje petchování a zpevňování obráběného materiálu,
- ovlivňuje podmínky tření na čele i hřbetě nástroje.

2.2.4 Odolnost vůči tepelnému šoku

Vyskytuje se při obrábění přerušovaným řezem (frézování, soustružení nepravidelných tvarů). Je to způsobeno rychle měnící se fází řezání, při kterém dochází k náhlému ohřevu břitu a následnému ochlazení, a to cyklicky. Břit je potom vystaven střídavému tahovému a tlakovému zatížení, čímž vznikají mikroskopické trhlinky v oblasti ostří.

2.2.5 Tepelná roztažnost

Tato fyzikální vlastnost ovlivňuje budoucí přesnost obrobené plochy. Vysoká tepelná roztažnost může způsobovat vznik mikrotrhlin, které pak snižují trvanlivost nástroje.

2.2.6 Tepelná vodivost

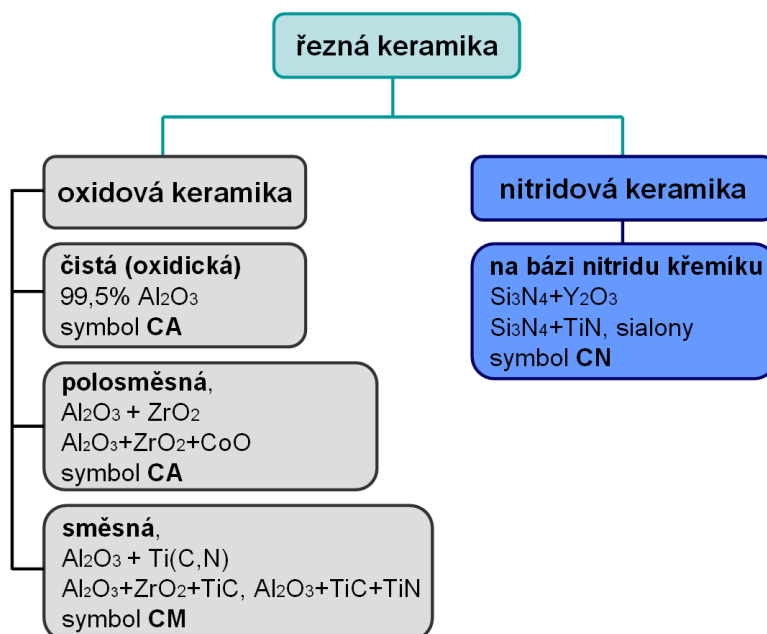
Především při zvýšených pracovních řezných podmínkách (řezná rychlost, posuv), může docházet ke zvýšené koncentraci tepla v oblasti špičky nástroje. V důsledku nízké tepelné vodivosti nástrojového materiálu může dojít k rychlému plastickému opotřebení břitu nástroje, které může dosáhnout až lavinovitého otěru.

3 ŘEZNÁ KERAMIKA

Keramika je polykrytalický materiál se zrna malých rozměrů (velmi často pod $1\mu\text{m}$), jehož hlavní složkou jsou organické sloučeniny nekovového charakteru. Tato definice platí nejen pro tradiční keramiku (porcelán, cihly cement), ale i pro řezné a brousící materiály. Pro novou keramiku je charakteristická výroba z poměrně čistých surovin jako u keramiky syntetické. Většina látek zařazovaných pod pojem nová keramika jsou látky krystalické, na rozdíl od tradiční keramiky (např. porcelán, glazury). Ty obsahují i značný podíl skelné (amorfní) fáze. Keramické látky jsou vázány meziatomovými vazbami iontovými a kovalentními, jejich vazba není čistě kovalentní nebo iontová, ale obvykle se vyskytují oba typy vazby současně. Krystalová struktura tvořící základ keramických materiálů obsahuje složité mřížky kubické a hexagonální. [3]

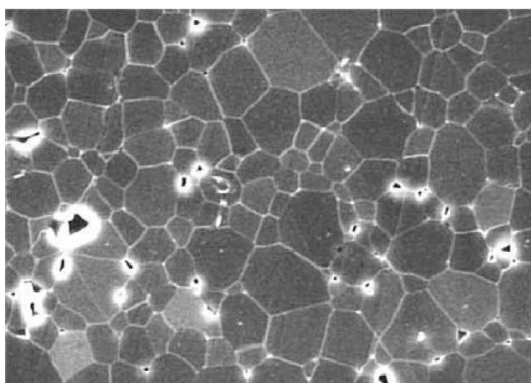
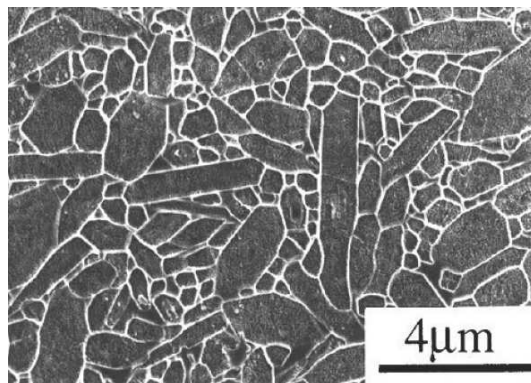
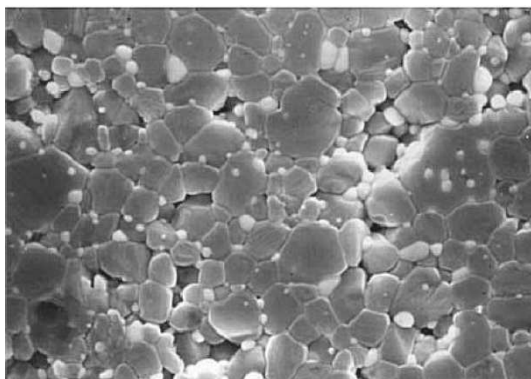
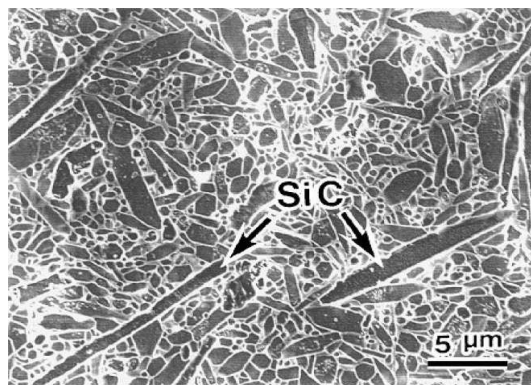
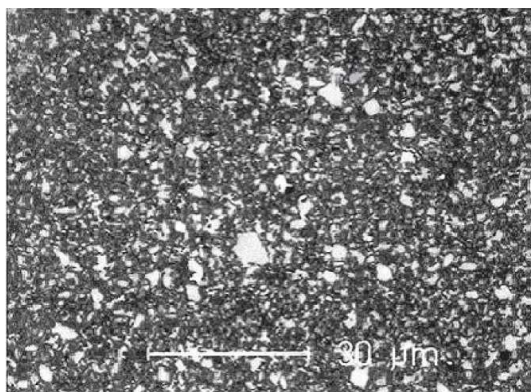
3.1 Rozdělení řezné keramiky

Keramické řezné materiály bývají zpravidla rozdělovány do dvou hlavních skupin. Pro dělení a značení keramických materiálů neexistuje konkrétní norma. Rozdělení keramiky je zobrazeno na (obr. 3.10)



Obr. 3.10 Rozdělení řezné keramiky [2]

Prakticky všechny druhy keramiky pro řezné nástroje můžeme vyrábět ve formě s vyztužujícími vlákny, tzv. whiskery SiC ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiCw}$, $\text{Si}_3\text{N}_4 + 20\%$ obj. SiCw) nebo Si_3N_4 , které značně zvyšují řezné vlastnosti. Řezná keramika může být tak opatřena tenkou otěruvzdornou vrstvou CVD nebo PVD povlaku.

Obr 3.11 Keramika Al_2O_3 [3]Obr 3.12 Keramika Si_3N_4 [3]Obr 3.13 Keramika $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$ [3]Obr 3.14 Keramika $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{SiCw}$ [3]Obr 3.15 Keramika $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ [3]

Obr 3.16 Keramika typu sialon [3]

3.2 Výroba řezné keramiky

Výroba kompaktních keramických součástí a tedy i VBD pro řezné nástroje je velmi podobná procesu výroby ze slinutých karbidů a cermetů. Podstatný rozdíl je ale v tom, že keramické výrobky neobsahují žádný materiál, který by spojoval zrna tvrdé fáze do jednolitého tělesa (jako například u SK kde je pojivo kobalt nebo cermetu, kde je pojivem nikl). Tato skutečnost výrobu řezné keramiky znesnadňuje a klade vysoké nároky na výrobní zařízení. To znamená, že je třeba dodržet všechny předepsané parametry technologického postupu výroby. Slinovatelnost a vývoj keramické struktury je možno ovlivnit přidáním přísad, které v průběhu slinování vytvářejí kapalnou fázi. Tímto způsobem lze docílit při slinování hutnějšího uspořádání částic a rychlejšího a lepšího zhutnění výrobku. [2]

Obecný postup výroby keramických materiálů:

- příprava práškové směsi - mletí a míchání,
- tvarování a sušení,
- předslinování,
- slinování,
- tepelné zpracování,
- úprava povrchu.

3.2.1 Výroba oxidové keramiky Al_2O_3

Základní surovinou pro výrobu oxidové keramiky je oxid hlinitý Al_2O_3 , k němuž se přidává malé množství pomocných látek. Tyto látky mají usnadnit slinování a zabránit růstu zrn. Mezi přídatné látky obecně patří oxidy zirkonia, yttria, chromu, titanu, niklu, hořčíku, kobaltu a molybdenu i karbidy těžkovitelných kovů jako wolfram a titan.

Po semletí mokré směsi se tato směs rozprašováním vysuší. Takto se získá prášek, který je schopen soudržnosti. Lisováním na automatických lisech se vytváří požadovaný tvar břitové destičky. Někdy jsou před lisováním přidány přísady, které snižují tření při lisování a zlepšují tečení. Lisování je prováděno

na lisech s oboustranným tlakem, aby bylo dosaženo rovnoměrného zhutnění v celém průřezu. Keramické materiály je možno vyrábět též izostatickým lisováním. To spočívá v lisování pomocí hydrostatického tlaku kapaliny přes elastickou a kapalině nepropustnou stěnu tvarovacího pouzdra. Velmi často jsou destičky vyráběny vytlačáním tzv. extruzí tyčí, které jsou tvarovány podle budoucího tvaru břitových destiček. [1]

Po vylisování následuje slinování ve speciálních pecích. Tam, dochází ke spojení prášku do tuhého tělesa potřebného tvaru. Keramické materiály jsou předslinovány při teplotě 1100°C po dobu 2 hodin a potom následuje konečné slinování při teplotě 1550°C také po dobu 2 hodin, v obou případech za atmosférických podmínek. Dále je možné u keramických materiálů zlepšit vlastnosti metodou HIP. To je metoda izostatického vysokoteplotního lisování. [2]

3.2.2 Výroba nitridové keramiky Si_3N_4

Slinování tohoto druhu keramiky je při atmosférickém tlaku mnohem obtížnější než u slinování oxidové keramiky Al_2O_3 . Je to v důsledku nižší samodifuze a teploty rozkladu. Vyšší teploty sice mohou podporovat difuzní proces, ale teplota, která je potřebná k dosažení dostatečné difuze, je tak vysoká, že materiál se před slinováním začíná rozkládat. Proto je při výrobě řezné keramiky na bázi nitridu křemíku nutno obohacovat výchozí prášek slinovacími přísadami a aplikovat postup vysokoteplotního lisování nebo vysokoteplotního izostatického lisování (HIP). Slinovací aditiva vytvoří během ohřevu tekutou fázi, která podporuje zhutňování. Pokud má být výsledný produkt hutný, bez nespojených míst, je nutné, aby se v průběhu slinovacího procesu vytvářela kapalná fáze. Z tohoto důvodu se do výchozí směsi přidávají speciální přísady (oxidy kovů). Tato fáze během ochlazování ztuhne a její charakter a složení určují konkrétní soubor vlastností finálního výrobku. [1]

Při výrobě keramických materiálů typu Sialon není nutné použít technologie izostatického lisování. Protože kompaktizace vzorku v procesu slinování probíhá za přítomnosti tekuté fáze i bez působení tlaku. Materiály typu

sialon mají poměrně vysokou houževnatost a své výhodné vlastnosti si zachovávají i za vyšších teplot. [2]

3.2.3 Vyztužení keramiky whiskery

Řezná keramika může být vyztužena vlákny (whiskery). Tím se dosáhne zpevnění pevnosti keramiky, vytvoří se kompozitní keramický materiál. Výroba spočívá v tom, že se do základní matrice tvořené Al_2O_3 , $Al_2O_3 + TiC$, Si_3N_4 nebo sialonem přidají vlákna (whiskery) SiC , případně Si_3N_4 submikronového průměru d (0,5 až $10\ \mu m$) a délky l (10 až $500\ \mu m$). Whiskery jsou do keramické matrice dodávány hlavně pro zvýšení lomové houževnatosti a ohybové pevnosti, ale také tvrdosti a modulu pružnosti při teplotách do $1000^\circ C$.

3.3 Výchozí materiály pro výrobu ŘK a jejich výroba a vlastnosti

Výchozí materiály pro výrobu řezné keramiky se dělí především na:

- ◆ Oxidy (Al_2O_3 , ZrO_2 , Y_2O_3)
- ◆ Karbidy (TiC , SiC)
- ◆ Nitridy (Si_3N_4 , TiN)

Všechny tyto materiály vykazují velkou chemickou stabilitu a vysokou tvrdost, tlakovou pevnost a odolnost proti vysokým teplotám.

Tab. 3.1 – Vlastnosti vybraných materiálů pro výrobu ŘK [1], [2]

Materiál	Teplota tavení [$^\circ C$]	Tvrdost [HV]
Al_2O_3	2050	2000
ZrO_2	2700	-
Si_3N_4	1900	1000
SiC	2200	2500

3.3.1 Oxid hlinitý (Al_2O_3)

Je nejčastěji vyráběn z bauxitu Bayernovou metodou (čistota konečného produktu dosahuje 99,9%). [2]

Postup výroby oxidu hlinitého:

- úprava bauxitové suroviny,
- loužení,
- filtrace,
- precipitace,
- kalcinace.

3.3.2 Oxid zirkoničitý (ZrO_2)

Vykazuje o 50% nižší tvrdost než Al_2O_3 , má však podstatně vyšší houževnatost a ohybovou pevnost. [2]

Vyrábí se z křemičitanu zirkoničitého ($ZrSiO_4$) některou z těchto metod:

- tepelný rozklad a redukce v elektrické peci (2100 až 2300°C),
- alkalické tavení,
- chlorace (do směsi oxidu zirkoničitého a uhlíku ohřívaného v peci na teplotě 800 až 1200°C je přidáván chlór),
- plazmový hořák (>2600°C).

3.3.3 Nitrid křemíku (Si_3N_4)

Nitrid křemíku existuje jako sloučenina ve dvou modifikacích α (nízkoteplotní) a β (vysokoteplotní, který je měkčí než α , ale houževnatější). V současné době se nitrid křemíků vyrábí 4 základními metodami syntézy nitridu křemíku [2]:

- přímá reakce prvků (nitridace křemíku),
- karbotermická redukce a nitridace oxidu křemičitého,
- srážení plynné fáze,
- teplotním rozkladem diamidu křemíku.

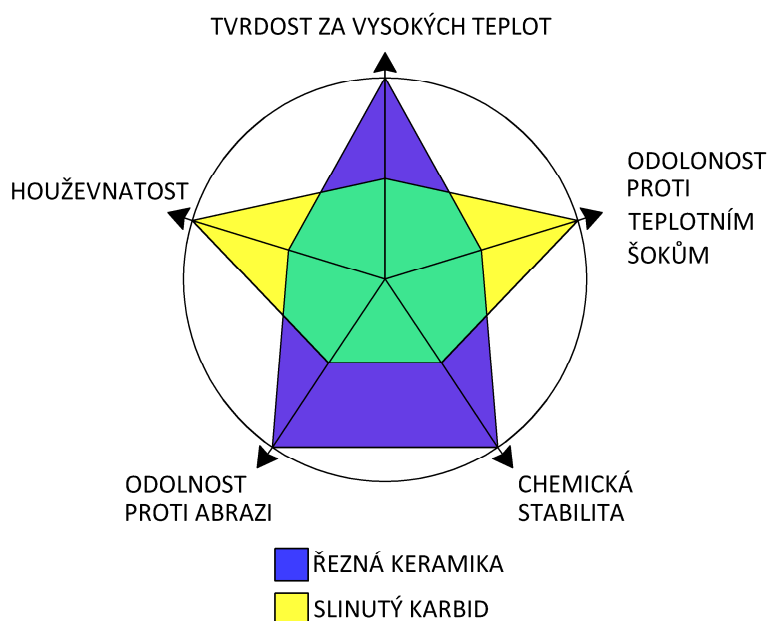
3.4 Vlastnosti řezné keramiky

Jednotlivé vlastnosti keramik můžeme různě kombinovat a měnit tak, jak to vyžadují konkrétní aplikace daného materiálu. Keramika se vyznačuje zejména vysokou tvrdostí (např. ve srovnání se SK obr. 3.17), nízkou houževnatostí a nízkou měrnou hmotností. Tyto faktory spolu s dalšími jako

jsou tepelná vodivost, délková roztažnost a omezená tvárnost určují mechanické vlastnosti a potenciální aplikační možnosti tohoto materiálu. Tvrdost v případě keramiky nelze přesně definovat jako fyzikální veličinu, protože více než kterákoliv jiná vlastnost závisí na zkušebních podmínkách. S narůstající teplotou tvrdost keramiky klesá. Typickou vlastností keramiky je křehkost, keramika není prakticky schopná plastické deformace a porušuje se křehkým lomem.

Vlastnosti řezné keramiky:

- vysoká tvrdost a odolnost proti plastické deformaci,
- odolnost proti mechanickému namáhání (hlavně tlakem),
- odolnost proti působení za vysokých teplot,
- vysoká chemická stabilita, inertnost vůči obráběnému materiálu,
- odolnost proti opotřebení, chemickým vlivům a korozi (vysoká trvanlivost a řezivost),
- nízká měrná hmotnost,
- nízká tepelná vodivost,
- velká křehkost,
- dostupnost základních surovin z domácích zdrojů,
- poměrně nízká cena. [2]

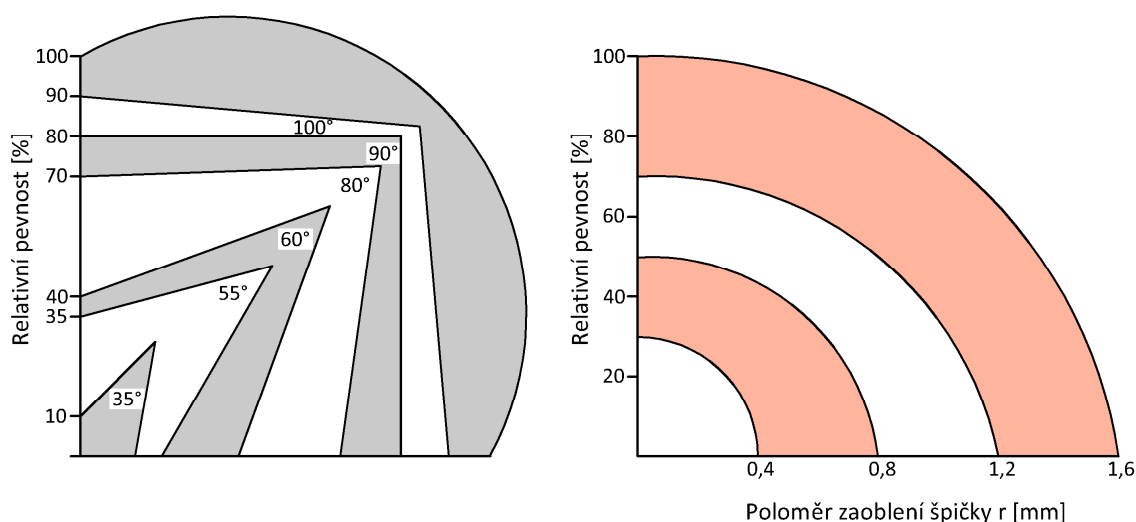


Obr. 3.17 Obecné porovnání keramiky a slinutého karbidu

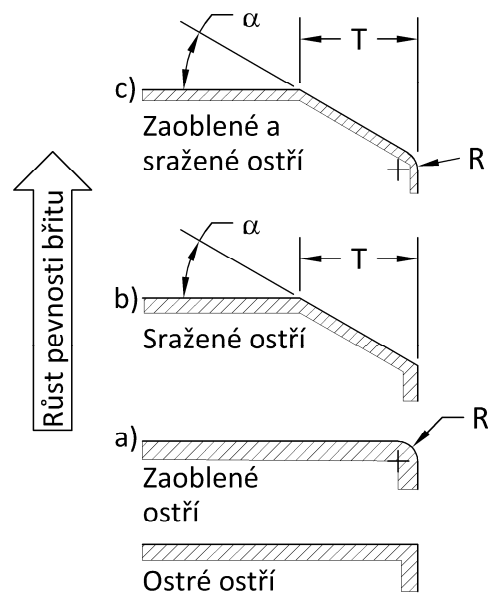
3.5 Podmínky efektivního využití řezné keramiky

Řezná keramika se řadí mezi velmi výkonné řezné materiály. Její úspěšné nasazení v obrábění vyžaduje dodržení určitých zásad (kromě řezných podmínek), aby se její výhodné vlastnosti mohly v plné míře projevit a nevýhodné potlačit. K hlavním podmínkám efektivního využití řezné keramiky patří zejména:

- vysoká tuhost systému stroj - nástroj – obrobek,
- použití výkonných obráběcích strojů s širokým rozsahem posuvů a otáček (vysoké řezné rychlosti),
- výborný stav obráběcího stroje,
- zabezpečení pevného a spolehlivého upnutí obrobku,
- odstranění kůry obráběného polotovaru jiným druhem nástrojového materiálu než ŘK (např. SK, který má vyšší odolnost proti abrazivnímu opotřebení, které převládá při obrábění kůry),
- sražení náběhových hran na obrobku,
- najíždění a vyjíždění z řezu při snížených hodnotách posuvu na otáčku,
- výběr vhodného tvaru a velikosti břitové destičky,
- správná volba tvaru ostří břitové destičky (velikost a sklon negativní fasetky na čele). [2]



Obr. 3.18 Relativní pevnost keramické VBD v závislosti na tvaru a poloměru provedení



Obr. 3.19 Úprava ostří keramického řezného nástroje a vliv na pevnost břitu

3.6 Využití řezné keramiky v praxi

Řezná keramika patří do skupiny netradičních řezných materiálů, její použití v obrábění představuje 4-5% z celkového objemu řezných materiálů. Existují ale specifické oblasti, kde ŘK představuje daleko vyšší procento, jedná se o letecký, kosmický a automobilový průmysl. Zde keramika přispěla k celkové intenzifikaci řezného procesu, protože díky svým vlastnostem umožňuje dosahovat i řezných rychlostí vyšších než 1000 m/min. Většina druhů řezných keramik má jen úzkou specifickou oblast (tab. 3.2).

Tab. 3.2 – Oblasti využití nástrojů z řezné keramiky

Druh řezné keramiky	Charakteristické použití řezné keramiky	Charakter řezu
Al₂O₃	Obrábění šedé litiny a konstrukčních ocelí nepřerušovaným řezem vysokými rychlostmi za sucha.	Dokončovací operace.
Al₂O₃ + ZrO₂	Obrábění šedé, tvárné a kujné litiny vytvrzené na 300HB. Obrábění uhlíkové, legované a nástrojové oceli vytvrzené na 38 HRC za sucha.	Střední a dokončovací operace, částečně přerušovaný řez.
Al₂O₃ + TiC	Obrábění kalených ocelí a těžko obrobitelných materiálů s částečně přerušovaným řezem za sucha i s chlazením, obrábění šedé litiny a tvrzených litin.	Střední a dokončovací operace včetně frézování.
Al₂O₃ + SiC (whiskery)	Obrábění žáruvzdorných slitin a žárovevých materiálů a kalené oceli.	Hrubovací a dokončovací operace.
Sialony	Hrubé obrábění superslitin na bázi niklu pro letecké motory a pro použití v agresivním prostředí. Řezy vyžadující vysoký posuv, rychlost nebo hloubku. Litina při vysokých rychlostech.	Hrubovací a dokončovací operace.
Si₃N₄	Hrubé soustružení a frézování všech druhů litiny v těžkých podmínkách. Soustružení žáruvzdorných slitin na bázi niklu za sucha i s chlazením.	Hrubovací a dokončovací operace.

3.6.1 Soustružení řeznou keramikou

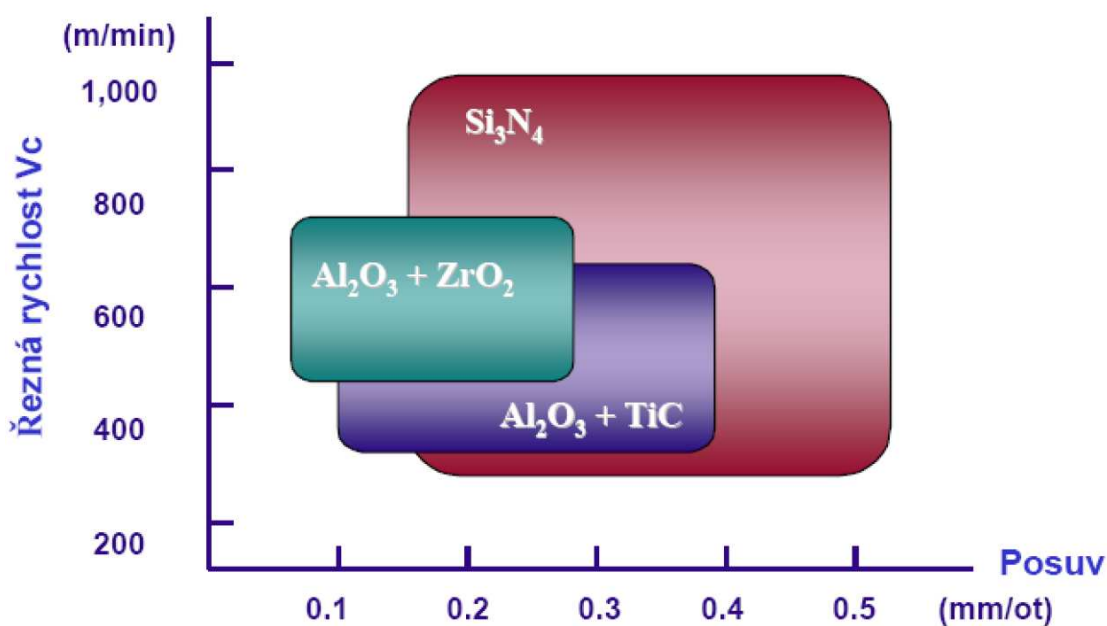
Podobně jako u slinutých karbidů uvádějí jednotliví výrobci doporučené řezné podmínky pro soustružnické práce svých keramických břitových destiček. U keramických materiálů hraje velmi důležitou roli chlazení. U většiny druhů keramických VBD je chlazení kapalinou zakázáno. Pro obrábění tvrdých materiálů (kalené oceli, tvrzené litiny) keramickými destičkami je nutné volit poměrně nízké hodnoty hloubky řezu a_p . [6]

3.6.2 Frézování řeznou keramikou

V počátcích vývoje a výroby byly keramické materiály doporučovány a používány výhradně pro obrábění nepřerušovaným řezem, tedy hlavně soustružení. Vývojem a zlepšováním mechanických vlastností se stalé více řezná keramiky začala aplikovat na přerušovaný řez jako je frézování. Jednou ze základních podmínek pro použití keramiky při přerušovaném řezu je vysoká stabilita Stroj – Nástroj - Obrobek a tedy zamezení vzniku vibrací. Toho se dá

úspěšně dosáhnout použitím frézovacích hlav osazených vyšším počtem břitů.
[6]

Řezná keramika má také uplatnění v HSC obrábění, a to proto, že má vysokou tvrdost za tepla a chemicky nereaguje s materiálem. Zaručuje dlouhou trvanlivost břitu a může být použita při vysokých řezných rychlostech. Při správných řezných podmínkách je možné dosáhnout velkého objemu odebíraného materiálu. K hlavním druhům materiálů, které se obrábějí keramikou, patří těžkoobrobitelné materiály, kalené oceli, tvrzené litiny a povrchově kalené obrobky. [7]



Obr. 3.20 Rozsah použití druhů řezných keramik [8]

Tab. 3.3 – Označení, složení a vlastnosti různých výrobců řezné keramiky [2]

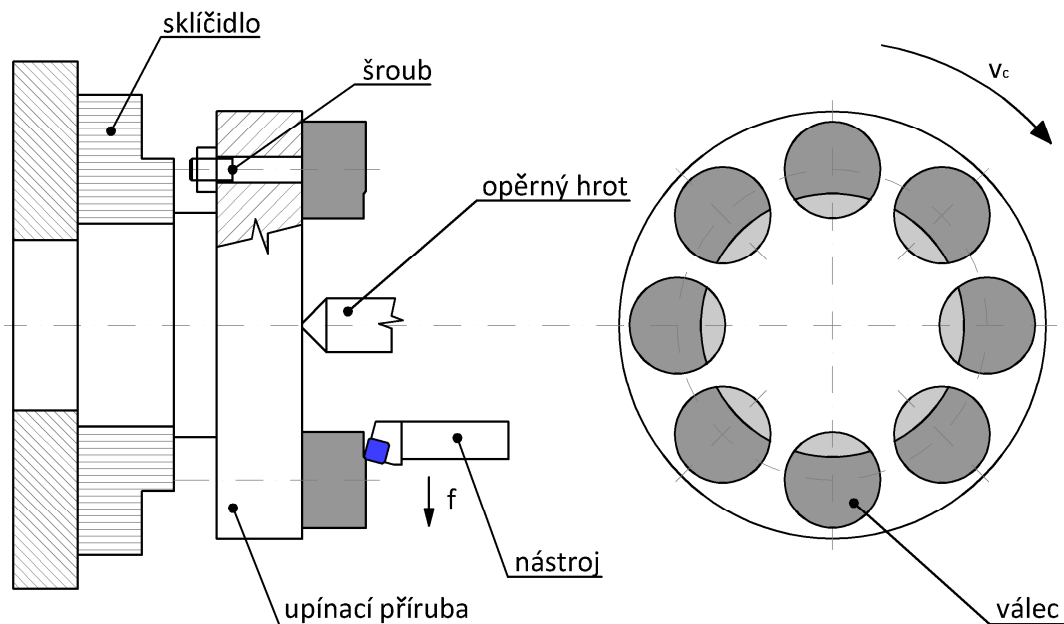
Výrobce	Země	Řezná keramika		ρ [g.cm ⁻³]	Tvrdost [HV] [HRA]*	Pevnost v ohybu [MPa]
		Označení	Složení			
CeremTec (Feldmuhle)	Německo	SN56	Al ₂ O ₃	3,91	2400	350
		SN60	Al ₂ O ₃ + ZrO ₂	3,97	2200	600
		SN76	Al ₂ O ₃ + ZrO ₂	3,96	2400	400
		SN80	Al ₂ O ₃ + ZrO ₂	4,10	2000	650
		SH1	Al ₂ O ₃ + TiC	4,30	2400	600
		SH20	Al ₂ O ₃ + TiC	4,28	2100	400
		SH20F	Al ₂ O ₃ + TiC	-	-	600
		FH3	Al ₂ O ₃ + TiC	4,20	2800	360
		SL100	Si ₃ N ₄	3,20	1800	720
Iscar	Izrael	IS8	Al ₂ O ₃ + Si ₃ N ₄ + Y ₂ O ₃	3,30	91,7*	800
Kennametal	USA	AC5	Al ₂ O ₃ + ZrO ₂	4,0	1750	500
		K060	Al ₂ O ₃ + ZrO ₂	4,0	93,4*	700
		K090	Al ₂ O ₃ + TiC	4,3	95,0*	910
		KY2000	Al ₂ O ₃ + Si ₃ N ₄ + Y ₂ O ₃	3,3	93,5*	760
		KY2100	Al ₂ O ₃ + Si ₃ N ₄ + Y ₂ O ₃	3,2	93,5*	650
		KY3000	Al ₂ O ₃ + Si ₃ N ₄ + Y ₂ O ₃	3,3	93,2*	850
		KY3500	Al ₂ O ₃ + Si ₃ N ₄ + Y ₂ O ₃	3,2	93,5*	1275
		MC2	Al ₂ O ₃ + ZrO ₂ + TiC	4,4	2000	600
		MC3	Al ₂ O ₃ + ZrO ₂ + SiC _w	3,8	2000	650
Mitsubishi	Japonsko	XD202	Al ₂ O ₃ + TiC	4,3	94,2*	880
		XD515	Si ₃ N ₄	3,2	92,0*	1080
		XD805	Al ₂ O ₃	-	-	-
		XE9	Si ₃ N ₄	-	-	-
NGK Spark Plug	Japonsko	CX3	Al ₂ O ₃ + ZrO ₂	4,0	93,5*	500
		HC1	Al ₂ O ₃ + ZrO ₂	4,0	93,5*	700
		HC2	Al ₂ O ₃ + TiC	4,3	94,5*	800
		HC6	Al ₂ O ₃ + TiC	4,7	94,0*	800
		SX2	Si ₃ N ₄ + ZrO ₂	3,2	93,5*	1100
		SX8	Si ₃ N ₄ + ZrO ₂	3,2	93,0*	1200
Sandvik Coromant	Švédsko	CC620	Al ₂ O ₃ + ZrO ₂	4,0	1650	550
		CC650	Al ₂ O ₃ + TiC	4,3	1800	550
		CC670	Al ₂ O ₃ + SiC _w	3,7	2000	900
		CC690	Si ₃ N ₄ + Al ₂ O ₃ + ZrO ₂	3,2	1450	800
		GC1690	Si ₃ N ₄ + Al ₂ O ₃ + ZrO ₂	3,2	1560	750
Toshiba Tungaloy	Japonsko	FX950	Si ₃ N ₄ + Y ₂ O ₃	3,27	92,7*	950
		FX690	Si ₃ N ₄ + Y ₂ O ₃	3,30	92,8*	1100
		LX11	Al ₂ O ₃ + TiC	4,30	94,0*	900
		LX21	Al ₂ O ₃ + TiC	4,24	94,3*	800
		LXY	Al ₂ O ₃	3,98	94,0*	500
		RX10	ZrO ₂ + Y ₂ O ₃	6,05	91,3*	1200
		RX55	Al ₂ O ₃ + ZrO ₂ + Y ₂ O ₃	5,00	92,8*	2000

4 PŘEHLED TESTŮ PŘI PŘERUŠOVANÉM ŘEZU

4.1 Příčné soustružení (čepový test)

Tato zkouška spočívá v obrábění čel osmi válečků. Válečky jsou rovnoměrně umístěny po kružnici a připevněny na čele příruby takovou silou, aby nedošlo k prokluzu. Celý přípravek je upnut ve sklíčidle a pro zvýšení tuhosti je podepřen opěrným hrotem. Obrobek s válečky koná rotační pohyb a nástroj posuvný a příčný pohyb směrem o středu k obvodu desky. Během jedné otáčky je břit soustružnického nože vystaven osmi rázům.

Kriterium charakterizující odolnost břitu testovaného nástroje rázovému zatížení v přerušovaném řezu je počet rázů R , který břit vydrží do destrukce. U této zkoušky zůstávají v pracovních podmínkách neměnné pouze hloubka řezu a_p a posuv f , přičemž tak důležitý parametr jako je řezná rychlost v_c je proměnná. Proto je vhodný tento test pouze na porovnání řezných materiálů od různých výrobců a druhů mezi sebou. Na základě údajů, které tato zkouška poskytuje, nelze stanovit doporučené řezné podmínky pro konkrétní případ soustružení přerušovaným řezem. Výhodou čepové zkoušky je její časová nenáročnost s relativně nízkými nároky na zkušební materiál.

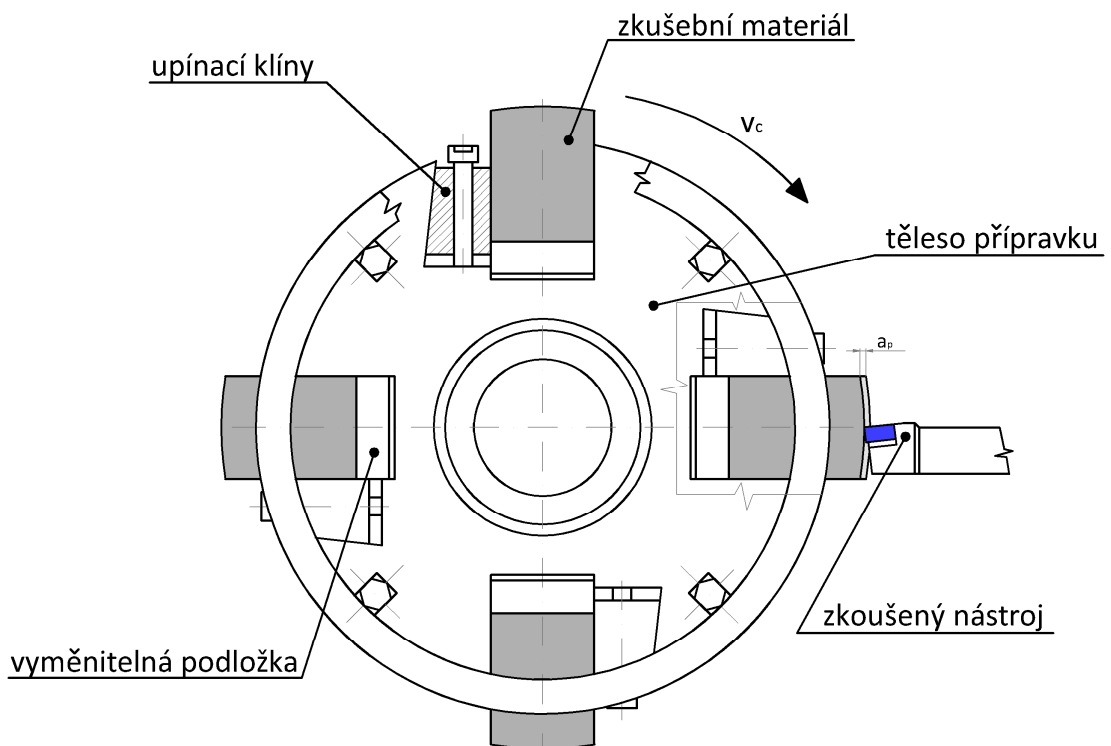


Obr. 4.1 Čepový test

4.2 Podélné soustružení (lišťový test)

Přípravek pro tento test byl speciálně vyvinut a zhotoven v laboratořích katedry obrábění a montáže. Základní konstrukci tvoří válec, ve kterém jsou vyfrézovány 4 drážky o rozměru 60 x 48 mm v délce 600 mm, ty slouží pro upnutí lišt pro daný materiál. Tyto lišty se podkládají podložkami z důvodu udržení stálého řezného průměru. Lišty jsou potom připevněny pomocí klínových čelistí, které jsou orientovány tak, aby do nich byla zachycována odstředivá síla. Klínové čelisti jsou připevněny šrouby a zešíkmeny tak, aby působily přitlačnou silou na lišty.

Testované nástroje se při soustružení posouvají v podélném směru od hrotu ke sklíčidlu. Během jedné otáčky je břit vystaven čtyřem rázům.

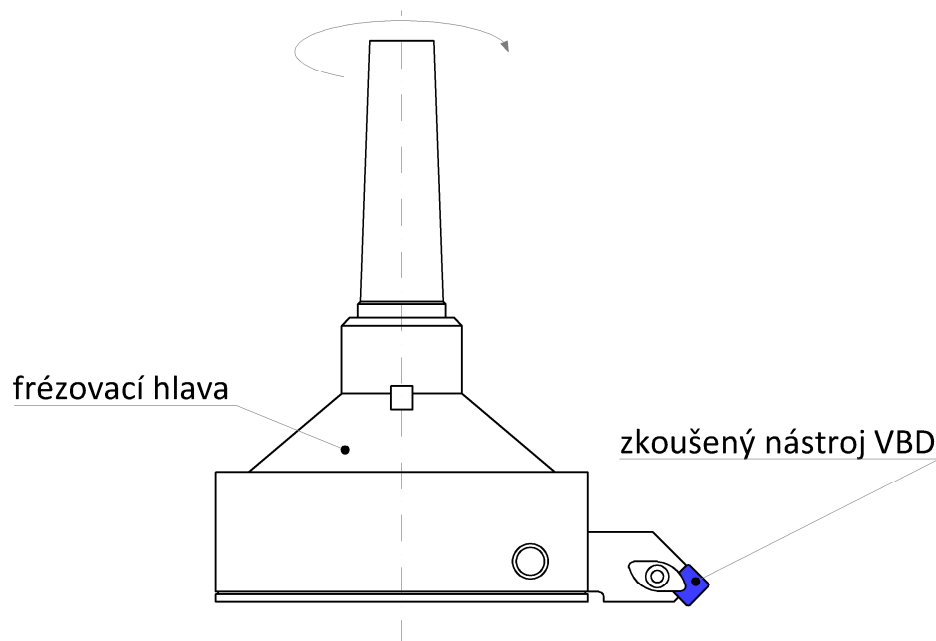


Obr. 4.2 Schéma lišťového testu

4.3 Čelní frézování

Jedná se o frézovací přípravek, ve kterém je upevněn jeden upínací držák s testovanou vyměnitelnou břitovou destičkou. Tento typ zkoušky umožňuje modelovat proces, který je svým charakterem rázový. Má velký podíl na obráběcích operacích. Příznivá situace je i z hlediska zajištění rovnoměrné

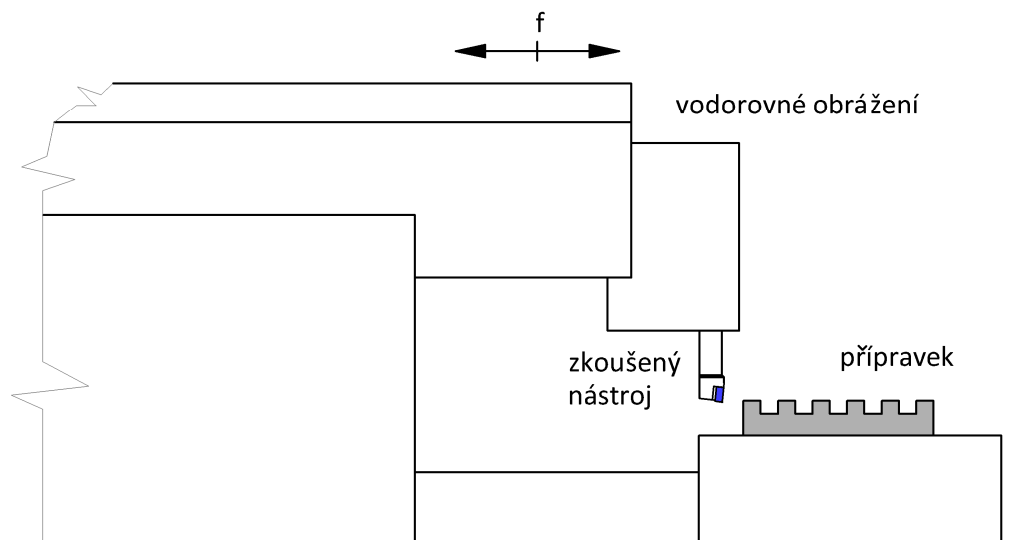
řezné rychlosti a konstantní hladiny chvění. Kriteriem opotřebení je velikost opotřebení na hřbetě nástroje VB, doplňujícím kriteriem je potom minimální rázová trvanlivost pro náhodné vyštípnutí břitu nože. Minimální hodnota náhodného vyštípnutí je dána počtem rázů při nevhodném opotřebení. U této zkoušky se doporučuje porovnávat s etalonovým materiálem a určovat indexy relativně.



Obr. 4.3 Schéma testu čelním frézováním

4.4 Vodorovné obrázení

Zkouška umožňuje studium rázové odolnosti nástrojů v podmínkách přímočarého pohybu, a to v oblasti nižších řezných rychlostí. Nevýhodou této zkoušky je menší tuhost obrážedky, která zvyšuje chvění. Vyhodnocení zkoušky je stejné jako u zkoušky čelního frézování.



Obr. 4.4 Schéma testu vodorovným obřazením

5 VLIV TEPELENÝCH A MECHANICKÝCH RÁZŮ

Odolnost vyměnitelných břitových destiček z keramiky proti teplotním a mechanickým rázům je stejně důležitým ukazatelem jakosti, jako je otěruvzdornost. K porušení břitu lomem nebo vydrolení dochází v důsledku cyklického namáhání, to můžeme pozorovat nejen při přerušovaném řezu (frézování, soustružení ploch přerušené drážkou nebo otvorem), ale i při nepřerušovaném řezu. Jak již bylo zmíněno, cyklické zatížení břitu nastává i za podmínek plynulého řezu. Je to způsobeno kolísáním hlavní složky řezné síly. Frekvence kolísání je v tomto případě závislá na charakteru vzniklé třísky (velikosti elementu třísky). U těžkoobrobitelných materiálů jako jsou např. austenitické oceli, dochází zejména při vyšších řezných rychlostech k lokalizaci plastické deformace ve smykové rovině a ke vzniku výrazně oddělených elementů plynulé třísky. Tím dochází ke kolísání řezné síly v podstatě ve větší míře než u jiných druhů ocelí. Větší amplituda hlavní složky síly zvyšuje nebezpečí vzniku únavového lomu, ale za určitých podmínek roste i intenzita a mění se charakter jeho opotřebení otěrem, tím se může projevit mikroskopické vydrolování břitu.

5.1 Tepelné rázy

Teplené rázy jsou způsobeny důsledkem rychle měnící se teploty břitu. To dochází při vniku břitu do materiálu, kdy teplota prudce vzroste a při výstupu z řezu teplota klesá. Takto je břit cyklicky namáhán teplotními rázy. Ty jsou příčinou střídavého tahového a tlakového namáhání v povrchových vrstvách vyměnitelných břitových destiček. Cyklické změny napětí mohou být příčinou vzniku mikroskopických trhlinek v oblasti ostří. Tyto trhlinky mohou svým vrubovým účinkem způsobit křehké porušení břitu.

Břit se ve fázi vnikání do obrobku prudce zahřeje, čímž teplota povrchových vrstev velmi rychle vzrůstá. Sousední vrstvy ležící dále od povrchu jsou chladnější a brání povrchovým vrstvám v prodloužení, které by odpovídalo jejich ohřevu. Důsledkem toho vzniknou na povrchu tlaková napětí, která přechází v určité vzdálenosti od povrchu v napětí tahová. V okamžiku, kdy vyjde

břit ze záběru, dojde k intenzivnímu ochlazování povrchových vrstev. Protože pokles teploty vrstev vzdálených od povrchu neprobíhá tak rychle, vznikne tím v povrchové vrstvě tahové napětí, které se v určité vzdálenosti od povrchu mění v tlakové. Toto kolísání napětí může superpozicí s napětím vzniklým mechanickým rázem způsobit vznik trhlin a následné křehké porušení bříty.[4]

Z teorie pružnosti a pevnosti je znám vztah pro výpočet napětí způsobeného tepelnou roztažností.

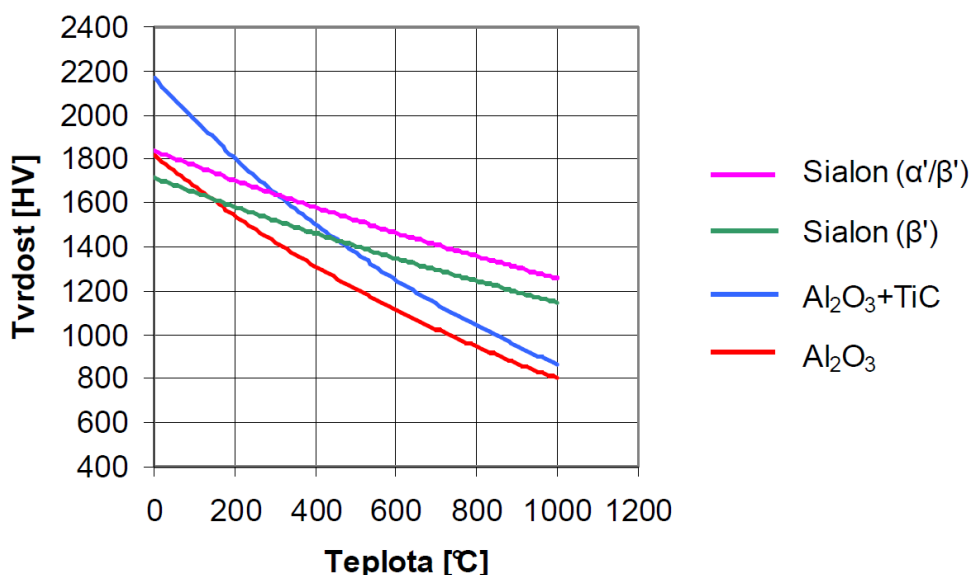
$$\sigma = \gamma \cdot E \cdot \Delta T [\text{MPa}] \quad (5)$$

kde: γ součinitel teplotní roztažnosti [K^{-1}]

E modul pružnosti [MPa]

ΔT teplotní gradient [K]

Z toho vztahu vyplývá, že čím větší je modul pružnosti E , součinitel tepelné roztažnosti a teplotní gradient, tím větší je tepelné napětí. Zvýšením odolnosti bříty proti teplotním rázům napomáhá vysoká pevnost v tahu, vysoká tepelná vodivost (která vede k menším teplotním gradientům), nízký modul pružnosti a nízký součinitel tepelné roztažnosti. [4]



Obr. 5.1 Závislost tvrdosti na teplotě vybraných druhů řezných keramik [11]

5.2 Mechanické rázy

Mechanické rázy vznikají při vnikání břitu do obrobku nebo při přerušovaném řezu, kdy dochází ke krátkodobému nárůstu především hlavní složky řezné síly. Tento nárůst může dosáhnout v některých případech až násobku střední hodnoty hlavní složky řezné síly po vřezání břitu do obrobku. Doba vnikání závisí na vzájemné poloze povrchu obrobku a čela nástroje. Dojde-li k prvnímu kontaktu mezi břittem v celém průřezu třísky najednou, je doba vnikání teoreticky nulová a nárůst řezné síly způsobený rázem dosáhne maxima. Čím pozvolnější je vřezávání břitu na plný průřez třísky, tím menší je nárůst řezné síly. Na čele nástroje vyměnitelných břitových destiček je místo, kde vzniká křehké porušení břitu, je to místo, kde dojde k prvnímu dotyku nástroje s obrobkem. [4]

Tab. 5.1 Vlastnosti vybraných řezných keramik [2]

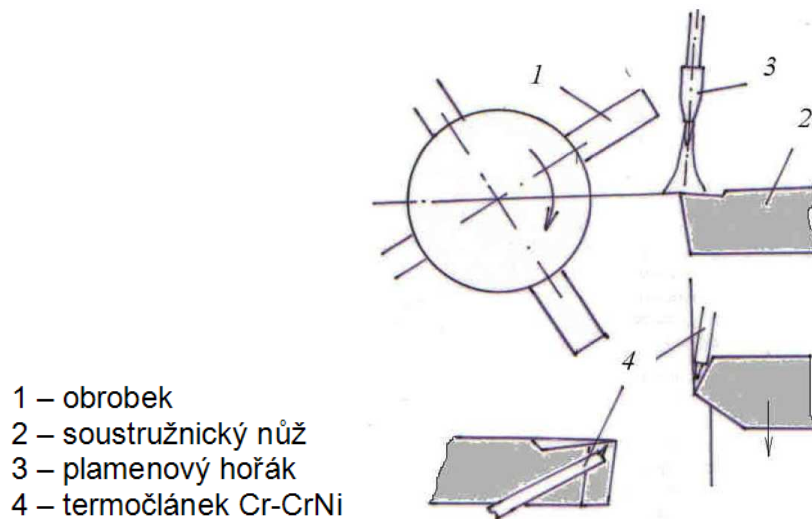
Vlastnosti řezných keramik				
Vlastnost	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ +ZrO ₂	Al ₂ O ₃ +TiC	Sialon
Tvrdost [GPa]	17,2	16,5	20,6	15,6
Modul pružnosti v tahu [GPa]	400	390	420	300
Lomová houževnatost [MPa.m ^{1/2}]	4,3	6,5	4,5	6,5
Součinitel délkové roztažnosti [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	8,0	8,5	8,5	3,1
Měrná tepelná vodivost [W m ⁻¹ K ⁻¹]	10,5	8,0	13,0	9,7

5.3 Trvanlivost nástroje v přerušovaném řezu ohřívané plamenovým hořákem, působení tepelných a mechanických rázů

Experimentální stanovení opotřebení na hřbetě nástroje v závislosti na ohřevu nástroje plamenem dle Vasilka.

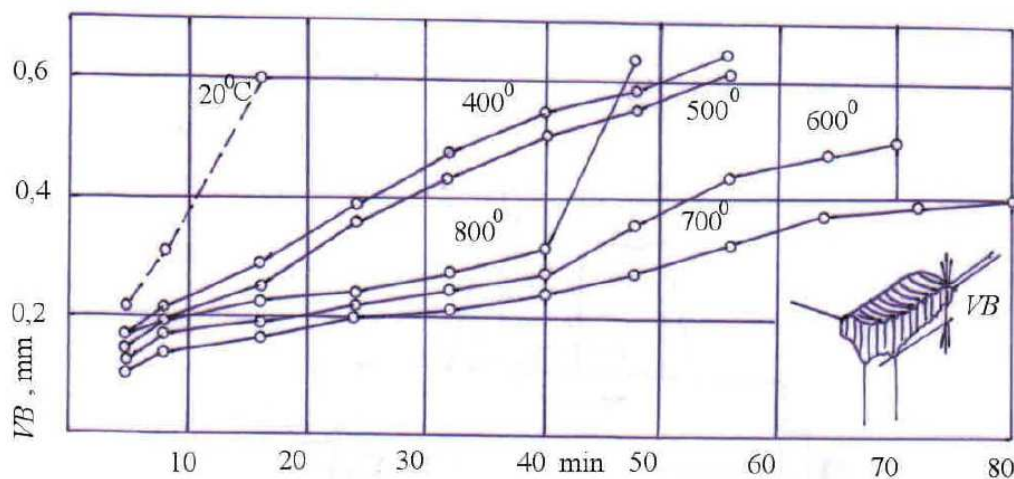
Úvahy o významu tepelných změn na trvanlivost nástroje v přerušovaném řezu vedly k myšlence regulovat tepelný proces v průběhu obrábění. Experimentální zkoušky byly vykonané při soustružení obrobku

s žebry, bez ohřevu nástroje a s ohřevem plamenovým hořákem. Řezným nástrojem byl slinutý karbid P20 a obrobek byl z materiálu 12 050.3 (C45). Teplota v blízkosti řezné hrany byla měřena termočlánkem. [5]



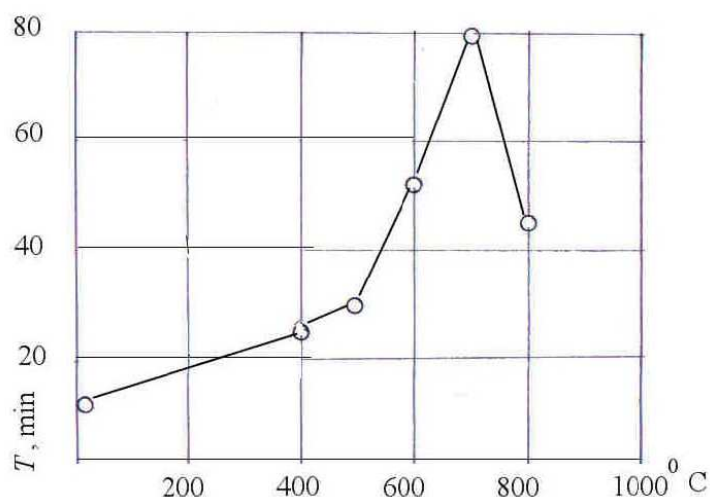
Obr. 5.2 Schéma kontrolы teploty v blízkosti řezné hrany [5]

Diagram průběhu opotřebení nástroje v čase obrábění bez ohřevu a s ohřevem na požadované teploty plamenovým hořákem.



Obr. 5.3 Průběh opotřebení na hřbetě VB v závislosti na čase soustružení [5]

Při kritériu opotřebení $VB_k = 0,4\text{mm}$ je možno stanovit trvanlivost nástroje v závislosti na teplotě ohřevu.



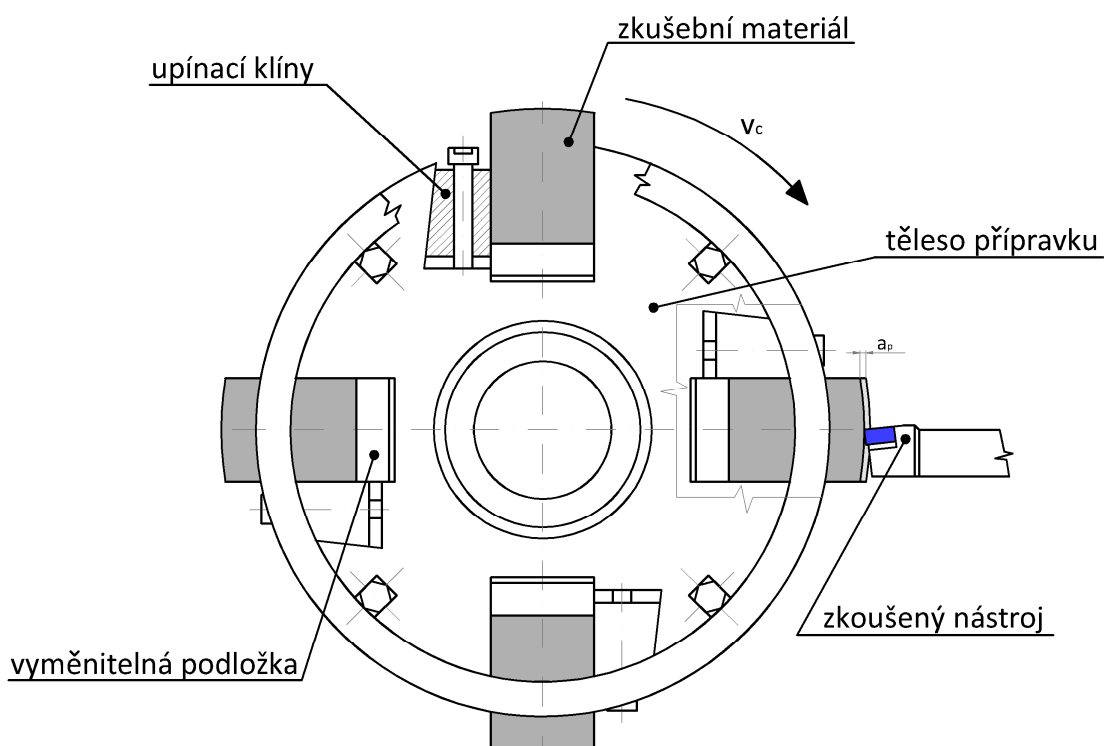
Obr. 5.4 Experimentální závislost trvanlivosti nástroje v přerušovaném řezu v závislosti na teplotě ohřevu nástroje [5]

Z diagramu (obr. 5.4) vyplývá, že nejmenší opotřebení nástroje na hřbetě VB je při teplotě okolo 700°C. Další zvyšování teploty vede ke snižování pevnosti rezného materiálu. Nárůst trvanlivosti při ohřevu nástroje na 700°C je v porovnání s obráběním při teplotě 20°C výrazný. Představuje až osminásobné prodloužení času obrábění. To dokazuje, že rozhodující vliv na poškození nástroje v přerušovaném řezu mají tepelné a ne mechanické rázy. [5]

6 METODIKA VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK

6.1 Podélné soustružení (lištový test)

Pro experimentální zkoušky řezné keramiky na simulátoru přerušovaného řezu byla zvolena metoda podélného soustružení (lištový test). Tyto zkoušky jsem prováděl na speciálním přípravku upnutém do sklíčidla a podepřeném upraveným hrotem ustaveným v pinole koníku. Přípravek tvoří 4 podélné lišty, které jsou upnuty v tělese přípravku pomocí sady upínacích klínů (obr. 6.1).



Obr. 6.1 Schéma přípravku pro podélné soustružení (lištový test)

Tento přípravek byl zhotoven v rámci řešení grantového projektu GAČR č.101/93/0129 v laboratořích Katedry obrábění a montáže [9] Po konstrukční stránce byl přípravek navržen svými autory pro řeznou rychlost v rozsahu $v_c = 120 - 400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, což pokrývá oblast použití SK a dolní část rozsahu řezné keramiky.[10] Pro realizaci experimentů za účelem testování při vyšších řezných rychlostech je nutné zajistit dynamické vyvážení a zajištění vyměnitelných podložek proti uvolnění odstředivými silami při vysokých otáčkách vřetene [1]

Testovaný nástroj se při této zkoušce posouvá v podélném směru od hrotu ke sklíčidlu obráběcího stroje. Během jedné otáčky je VBD v záběru do materiálu lišt vystavena 4 rázům.

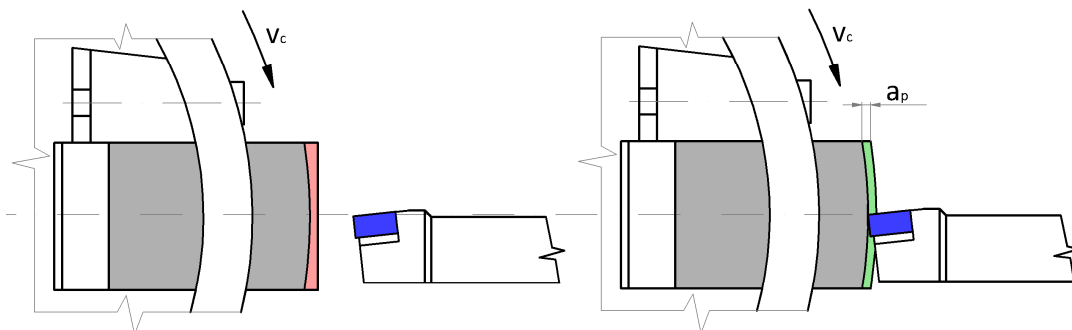
6.1.1 Sestavení přípravku

Před samotným testováním je nutné celý přípravek upnout do soustruhu, po té do něj vložit a upnout lišty z testovaného materiálu. Zajistit a připravit tuhé upnutí jednotlivých lišt, ty jsou upínány pomocí klínových čelistí zajištěných šrouby. Orientace klínových čelistí zajišťuje při odstředivé síle zvyšující přitlačnou sílu na lišty.

Výhodou tohoto přípravku je poměrně snadná vyměnitelnost lišt, tím můžeme používat a testovat různé obráběné materiály. Z bezpečnostního hlediska jsou na obou čelech přípravku přišroubovány pojistné kroužky. Ty mají zamezit při nedostatečném upnutí lišt zranění obsluhy stroje nebo jiným materiálním škodám, ke kterým by mohlo dojít vlivem odstředivé síly.

6.1.2 Úprava lišt před vlastním měřením

Abychom zajistily konstantní řeznou rychlost v průběhu testu, jsou lišty po odsoustružení vrstvy radiálně podkládány speciálními distančními podložkami, takže obrábění probíhá na stále stejném průměru. Před vlastním obráběním je nutné odřezat první hloubku třísky, aby byla zaručena konstantní hloubka a_p (obr. 6.2).

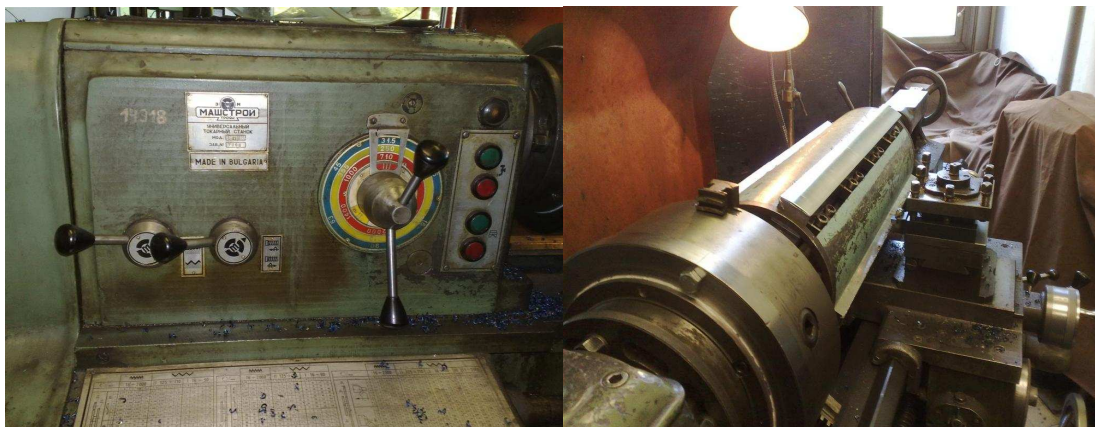


Obr. 6.2 Úprava lišt před vlastním obráběním

Touto jednoduchou úpravou zajistíme i vyvážení proti rozkmitání soustavy, protože vzdálenost lišt bude od středu konstantní. Tato první tříska není ve výsledcích měření uvedena. Nyní je přípravek připraven, může probíhat vlastní testování VBD. [1]

6.2 Obráběcí stroj

Zkoušky řezné keramiky na simulátoru přerušovaného řezu byly provedeny na univerzálním hrotovém soustruhu MAŠSTROJ TROJAN C11 MV.



Obr. 6.3 Soustruh MAŠSTROJ TROJAN C11 MV

6.3 Materiál obrobku (lišt)

Pro testy řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu byly zvoleny 2 materiály: etalonový materiál ocel 12 050 (C45) a ocel 15 128 (13MoCrV6).

6.3.1 Ocel 12 050 (C45)

Tato ocel spadá do referenční třídy obrobitelnosti pro ocel 14b. Pro obrábění je nejvýhodnější stav žíhaný naměkko a se zvýšeným obsahem S.

Jedná se o uhlíkovou ocel se zvláštními vlastnostmi pro zušlechťování a povrchové kalení. Tento materiál je používán jako hřídel těžních strojů, turbokompresorů. Dále se používá pro větší ozubená kola, šneky, ozubené věnce, rotory šroubových kompresorů, ojnice, pístnice, čepy, šrouby.

Tab. 6.1 Mechanické vlastnosti oceli 12 050 (C45)

Mechanické vlastnosti	R _p 0,2 [MPa]	R _m [MPa]	A ₅ [%]	Tvrdost [HB]	E [GPa]
12 050 (C45)	331	637	22,2	max. 225	211

Tab. 6.2 Chemické složení oceli 12 050 (C45)

C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Al	N
0,478	0,640	0,240	0,013	0,003	0,020	0,020	0,050	0,005	0,004	0,003	0,037	0,07

6.3.2 Ocel 15 128 (13MoCrV6)

Ocel se zvláštními vlastnostmi, pro práci za vyšších teplot, žáropevná pro namáhání při zvýšených teplotách v oblasti meze kluzu i meze tečení. Používá se také pro součásti energetických a chemických zařízení, pracující při teplotách do 580 °C

Tab. 6.3 Mechanické vlastnosti oceli 15 128 (13MoCrV6)

Mechanické vlastnosti	R _p 0,2 [MPa]	R _m [MPa]	A ₅ [%]	Tvrdost [HB]	E [GPa]
15 128 (13MoCrV6)	294	470 - 640	17	135 - 183	214

Tab. 6.4 Chemické složení oceli 15 128 (13MoCrV6)

C	Mo	Mn	Si	P	S	V	Si	Cr	Al
0,1-0,18	0,4-0,6	0,45-0,7	0,15-0,4	do 0,04	do 0,04	0,22-0,35	0,15 - 0,4	0,050	0,025

6.4 Testované materiály VBD z ŘK

Testované materiály z ŘK byly zvoleny od výrobce ISCAR. Jednalo se o destičky normalizovaného tvaru SNGN 120716. Výrobce ISCAR nabízí ze sortimentu řezné keramiky 7 typů řezných keramik, dvou základních druhů, oxidovou a nitridovou keramiku viz (tab. 6.5) Některé druhy ŘK od výrobce ISCAR jsou povlakovány PVD (IN420) nebo CVD (IS80) technologií.

Tab. 6.5 – Řezná keramika od výrobce ISCAR [16] [17]

Označení ISCAR	Vlastnosti	ISO
Oxidová keramika	IN11 KERAMIKA BÍLÁ Bílá keramika ($Al_2O_3+ZrO_2$) vykazující vysokou houževnatost a odolnost proti opotřebení. Určená pro soustružení litiny při vysokých řezných rychlostech, bez chlazení.	K01-K10 S01-S10
	IN420 KERAMIKA ČERNÁ PVD povlak Černá keramika (Al_2O_3+TiCN) doporučená pro polohrubovací operace a dokončovací operace na ocelích, nástrojových ocelích chromovaných ocelích, kalených ocelí tvrzené litiny a podobně při vysokých řezných rychlostech.	K05-K10 H05-H25
	IN23 (IN22) KERAMIKA ČERNÁ Černá keramika (Al_2O_3+TiCN) doporučená pro polohrubovací a dokončovací operace šedé a nodulární litiny bez chlazení.	K05-K15 H10-H30
Nitridová keramika	IS8 SILICON NITRIDE Silikon nitridová keramika ($Si_3N_4+Al_2O_3+Y_2O_3$) doporučená pro střední aplikace soustružení. Lze použít pro přerušovaný řez (frézování).	K01-K20
	IS9 SILICON NITRIDE Silikon nitridová keramika ($Si_3N_4+Al_2O_3+Y_2O_3$) doporučená pro obrábění slitin na bázi niklu, žáruvzdorných slitin při vyšších řezných rychlostech, případně i přerušovaným řezem.	S20-S30
	IS80 SILICON NITRIDE CVD povlak Silikon nitridová keramika ($Si_3N_4+Al_2O_3+Y_2O_3$) s CVD Si_3N_4 povlakem, Určeno pro hrubovací soustružnické a frézovací operace na šedé a modulární litině.	K01-K20

K – Litiny

H – Kalené oceli

S – Speciální žárupevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti

Měření bylo provedeno na 4 druzích ŘK od výrobce ISCAR (Obr 6.4), jednalo se o dvě oxidové keramiky (IN11, IN22) a dvě nitridové keramiky (IS8, IS80). K dispozici byla i oxidová keramika typu IN23, z důvodu stejného materiálového složení s destičkou IN22 nebyla v testu použita.



Obr. 6.4 Testované VBD z ŘK od výrobce ISCAR (IN11, IN22, IN23, IS8, IS80)

6.4.1 Nástrojový držák VBD (řezná geometrie)

Všechny námi vybrané druhy destiček z ŘK mají normalizovaný tvar SNGN 120716. Pro tento typ VBD byl zvolen nástrojový držák CSRNR

25x25M12 – K (obr. 6.5). Nástrojový držák byl vybírán s ohledem na normu ISO 3685 – Tool Life Testing with Single Point Turning Tools. [12]

Geometrie pro nástroj z řezné keramiky:

- ◆ ortogonální úhel hřbetu $\alpha_o = 6^\circ$,
- ◆ ortogonální úhel čela $\gamma_o = -6^\circ$,
- ◆ úhel sklonu ostří $\lambda_s = -6^\circ$,
- ◆ úhel nastavení hlavního ostří $\kappa_r = 75^\circ$,
- ◆ úhel špičky $\varepsilon_r = 90^\circ$.



Obr. 6.5 Použitý nástrojový držák CSRNR 25x25M12

7 VYHODNOCENÍ PROVEDENÝCH ZKOUŠEK

7.1 Vyhodnocovací zařízení

7.1.1 Mikroskop INTRACO MICRO

Jednotlivé snímky opotřebení hřbetu a čela vyměnitelné břitové destičky byly pořízeny mikroskopem INTRACO MICRO (obr 7.10), zvětšení bylo 4 násobné pomocí digitální videokamery. Mikroskop je připojený k počítači, který je vybaven softwarem IMPOR 5 pro online kótování geometrických parametrů (délky, úhly, poloměry, apod.)



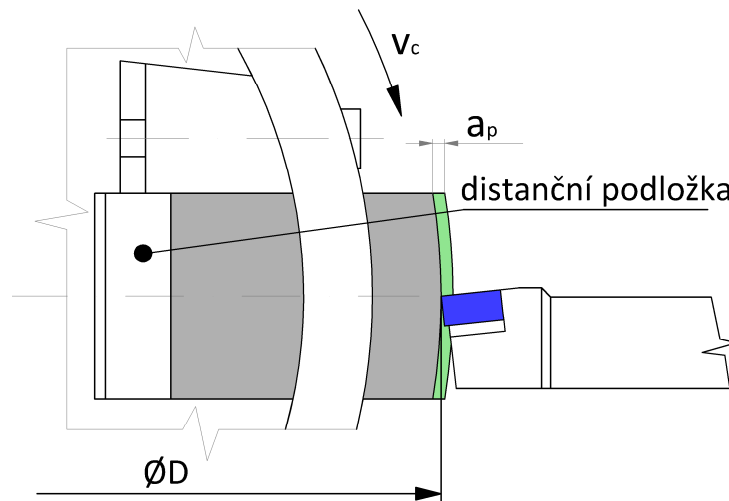
Obr. 7.10 Mikroskop INTRACO MICRO

7.2 Řezné parametry

Před samotným měřením bylo hlavním cílem stanovení řezných parametrů, které by nám zaručily určitou trvanlivost břitu. Při praktických zkouškách pro náš přípravek byly řezné parametry (tab. 7.1) zohledněny na jeho obráběný průměr $D = 260 \text{ mm}$ (obr. 7.11)

Tab 7.1 Použité řezné parametry

Řezné parametry								
Otáčky n [min^{-1}]	500				710			
Řezná rychlost v [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	408				580			
Posuv f [$\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}$]	0,16	0,20	0,25	0,31	0,16	0,20	0,25	0,31
Hloubka řezu a_p [mm]	1							



Obr. 7.11 Testovaný nástroj při úběru třísky (průměr $D = 260\text{mm}$)

7.3 Sledování počtu rázů

Dalším důležitým parametr byl počet rázů, který nástroj vydrží do lomu. Počet rázů byl vypočten dle vzorce:

$$R = \frac{4 \cdot l}{f}, \quad (7)$$

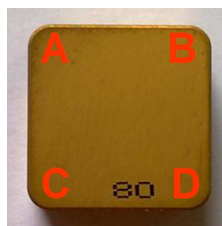
kde: Rpočet rázů do vyštípení [rázy],
 lobrobená délka [mm],
 fposuv [mm].

Příklad výpočtu počtu rázů:

$$R = \frac{4 \cdot l}{f} = \frac{4 \cdot 240}{0,16} = 6000 \text{ rázů}$$

Následujícím krokem bylo nastavení konstantních řezných parametrů, a to hloubky řezu a otáček (respektive řezné rychlosti), byl měněn pouze posuv v 4 krocích (tab. 7.1). Měření bylo provedeno na více vyměnitelných destičkách stejného druhu, vždy byly měřeny dvě hrany (označení „A“, „D“), u typu destičky ISCAR IS8 byly měřeny 4 hrany („A“, „B“, „C“, „D“) na jednom plátku VBD, bylo to z důvodu jeho omezeného množství, které bylo při testech k dispozici.

Označení VBD bylo ve tvaru **IN11_1_A** (Druh_destička_hrana)



Obr. 7.12 Značení měřených hran destiček

Vzhledem k časové a materiálové náročnosti byl zvolen maximální počet rázů na jednu hranu destičky, ten byl stanoven na hodnotu 6000 rázů. Pokud tento počet rázů destička vydrží, považuje se za „nesmrtelnou“ a proces jejího testování bude ukončen. Tomuto kritériu odpovídá pro každý posuv jiná obrobená délka (tab. 7.2), po dosažení hraniční obrobené délky byl proces testování pro jednotlivou destičku ukončen.

Tab. 7.2 Posuv a obrobená délka pro hraniční počet rázů

Hraniční obrobené délky		
Posuv f [mm]	Obrobená délka l [mm]	Počet rázů [-]
0,16	240	6000
0,20	300	6000
0,25	375	6000
0,31	465	6000

7.4 Vyhodnocení testů pro materiál lišt 15 128 (13MoCrV6)

Prvním obráběným materiálem lišt byla ocel 15 128 (13MoCrV6). Jak je patrné s tabulky mechanických vlastností oceli 12 050 (C45) a oceli 15 128 (13MoCrV6), (tab. 6.1 a tab. 6.3) je vidět, že ocel 15 128 má nižší mechanické vlastnosti než ocel 12 050, tudíž by měla mít lepší obrobiteľnosť. V následující tabulce (tab. 7.3) jsou uvedeny průměrné naměřené hodnoty řezných keramik ISCAR IN11, IN22, IS8 a IS80, ty jsou od sebe barevně odlišeny pro lepší orientaci v tabulkách a grafech. V levém sloupci (tab. 7.3) jsou potom naměřené hodnoty pro řeznou rychlost $v_c = 408$ [m/min] a v pravém sloupci pro řeznou rychlost $v_c = 580$ [m/min]. Počty rázů jsou přepočteny z obrobené délky.

Tab. 7.3 Naměřené hodnoty pro materiál lišt 15 128 (13MoCrV6)

IN11 $n = 500 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 408 \text{ [m/min]}, a_p = 1 \text{ [mm]}$				IN11 $n = 710 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 580 \text{ [m/min]}, a_p = 1 \text{ [mm]}$			
VBD	f [mm]	l [mm]	R [-]	VBD	f [mm]	l [mm]	R [-]
IN11_1_A	0,16	240	6000	IN11_3_A	0,16	240	6000
IN11_1_D	0,2	300	6000	IN11_3_D	0,2	213	4260
IN11_2_A	0,25	352	5632	IN11_4_A	0,25	249	3984
IN11_2_D	0,31	281	3626	IN11_4_D	0,31	46	594

IN22 $n = 500 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 408 \text{ [m/min]}, a_p = 1 \text{ [mm]}$				IN22 $n = 710 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 580 \text{ [m/min]}, a_p = 1 \text{ [mm]}$			
VBD	f [mm]	l [mm]	R [-]	VBD	f [mm]	l [mm]	R [-]
IN22_1_A	0,16	240	6000	IN22_3_A	0,16	240	6000
IN22_1_D	0,2	300	6000	IN22_3_D	0,2	300	6000
IN22_2_A	0,25	375	6000	IN22_4_A	0,25	136	2176
IN22_2_D	0,31	465	6000	IN22_4_D	0,31	144	1858

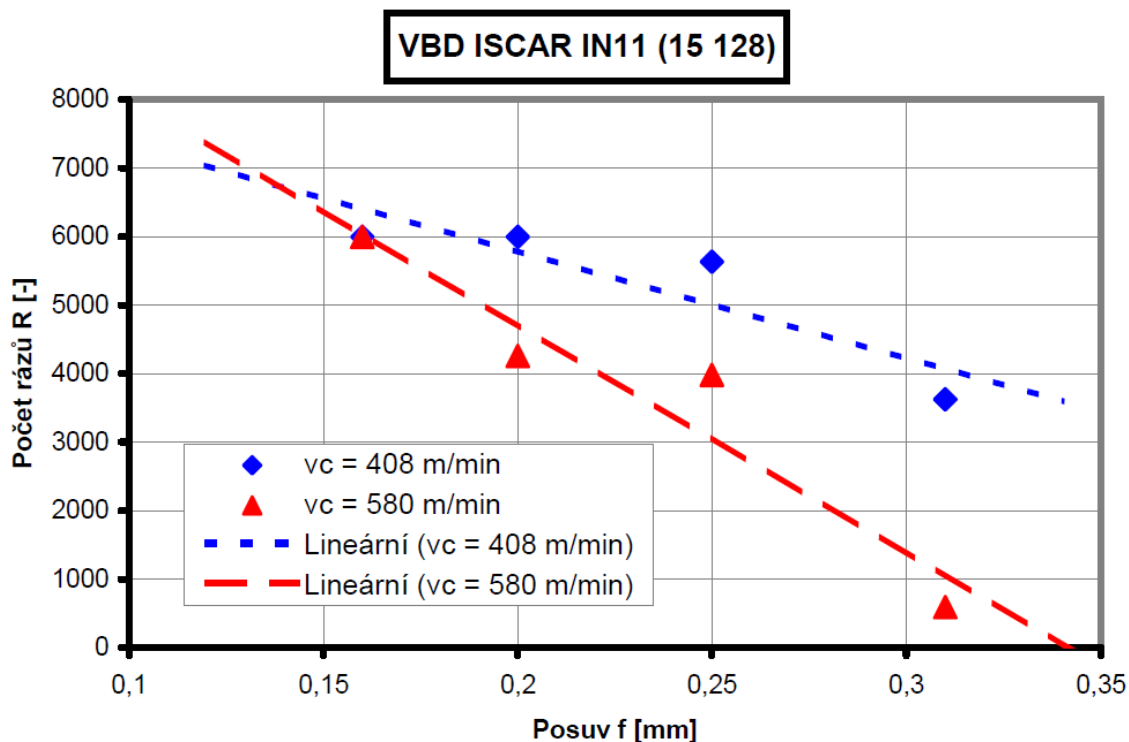
IS8 $n = 500 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 408 \text{ [m/min]}, a_p = 1 \text{ [mm]}$				IS8 $n = 710 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 580 \text{ [m/min]}, a_p = 1 \text{ [mm]}$			
VBD	f [mm]	l [mm]	R [-]	VBD	f [mm]	l [mm]	R [-]
IS8_1_A	0,16	240	6000	IS8_2_A	0,16	240	6000
IS8_1_B	0,2	300	6000	IS8_2_B	0,2	300	6000
IS8_1_C	0,25	375	6000	IS8_2_C	0,25	375	6000
IS8_1_D	0,31	465	6000	IS8_2_D	0,31	437	5639

IS80 $n = 500 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 408 \text{ [m/min]}, a_p = 1 \text{ [mm]}$				IS80 $n = 710 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 580 \text{ [m/min]}, a_p = 1 \text{ [mm]}$			
VBD	f [mm]	l [mm]	R [-]	VBD	f [mm]	l [mm]	R [-]
IS80_1_A	0,16	240	6000	IS80_3_A	0,16	200	5000
IS80_1_D	0,2	300	6000	IS80_3_D	0,2	198	3960
IS80_2_A	0,25	375	6000	IS80_4_A	0,25	151	2416
IS80_2_D	0,31	465	6000	IS80_4_D	0,31	76	981

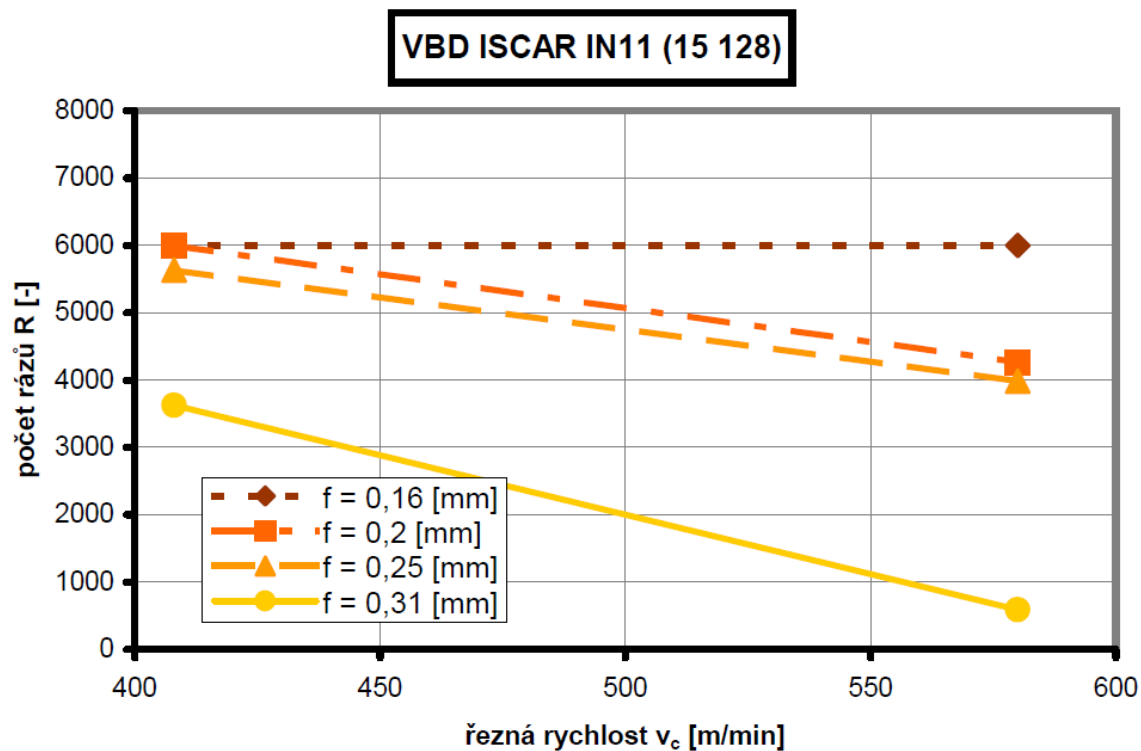
Tyto naměřené hodnoty potom můžeme vyhodnotit graficky. Získáme grafy v závislosti počtu rázů na posuvu (obr 7.13, obr 7.15, obr 7.17, obr 7.19) a řezné rychlosti (obr 7.14, obr 7.16, obr 7.18, obr 7.20).

Ze všech obrázků, v závislosti počtu rázů na posuvu je zřejmé, že počet rázů s rostoucím posuvem klesá. Ze všech grafů závislosti počtu rázů na řezné rychlosti vidíme, že počty rázů jsou nižší u vyšší řezné rychlosti $v_c = 580 \text{ m/min}$ než u řezné rychlosti $v_c = 408 \text{ m/min}$. Výjimku tvoří případy, kde destičky vydržely pro obě řezné rychlosti hraniční počet rázů 6000, ty jsou potom stejné. Dále je patrné, že u materiálu 15 128 počet rázů strměji klesá u vyšší řezné rychlosti.

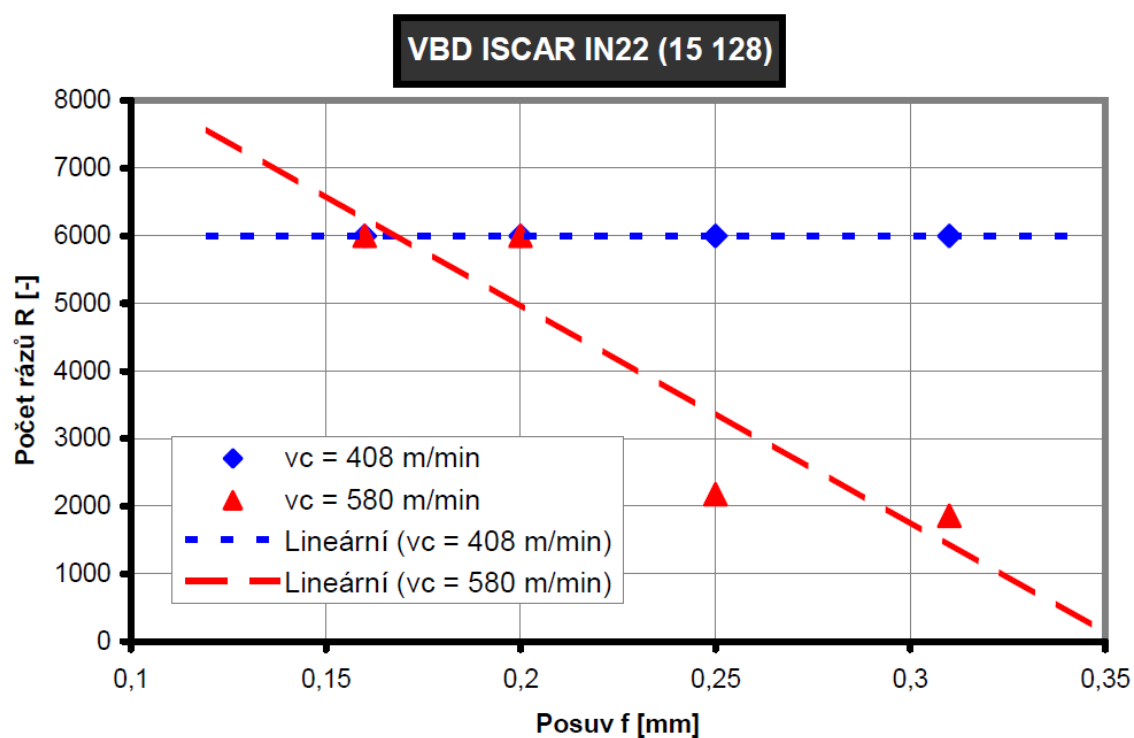
7.4.1 Grafické závislosti VBD ISCAR IN11 pro materiál 15 128



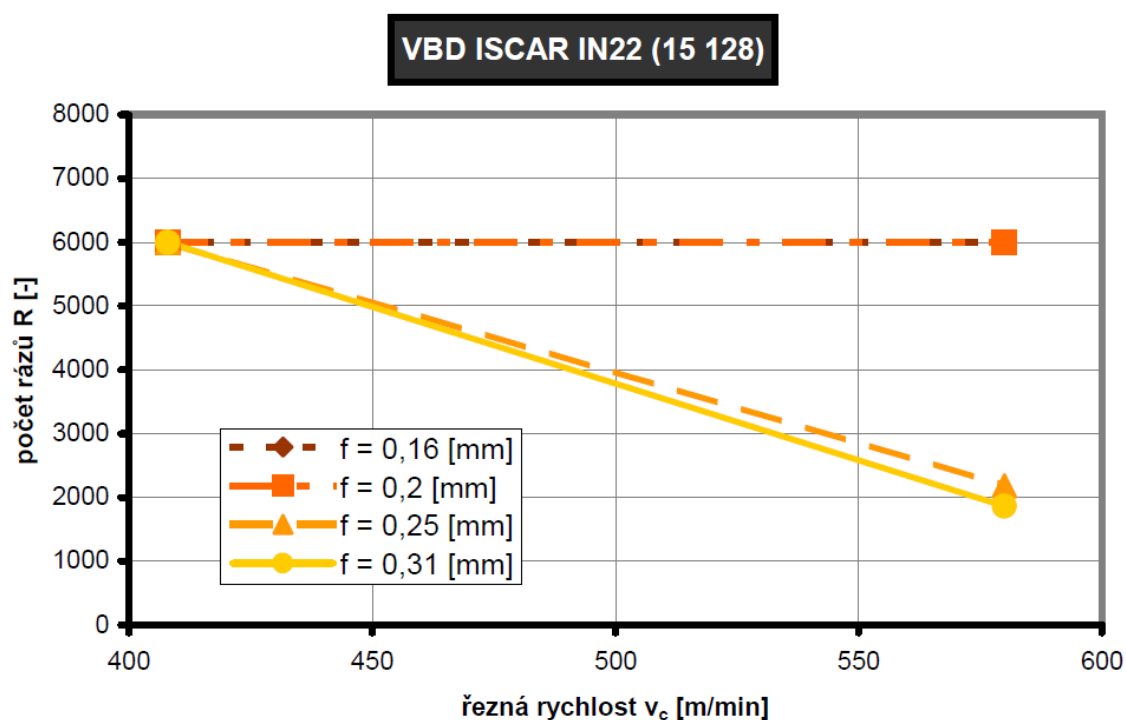
Obr. 7.13 Závislost počtu rázů na posuvu



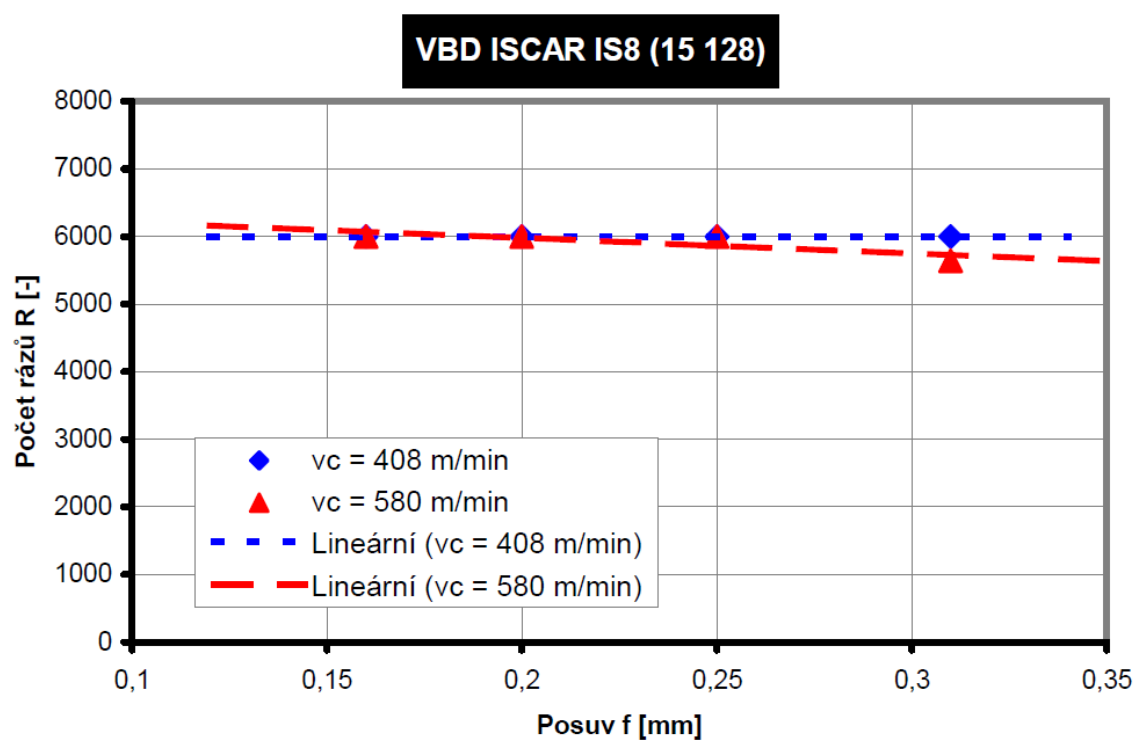
Obr. 7.14 Závislost počtu rázů na řezné rychlosti



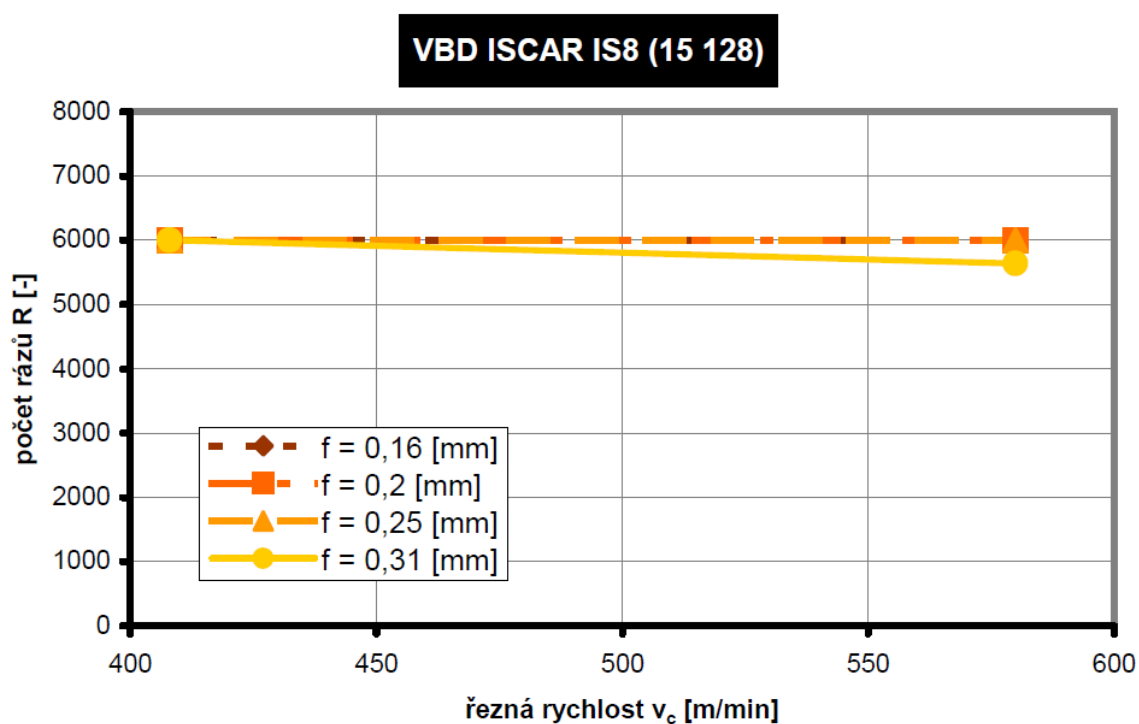
Obr. 7.15 Závislost počtu rázů posuvu



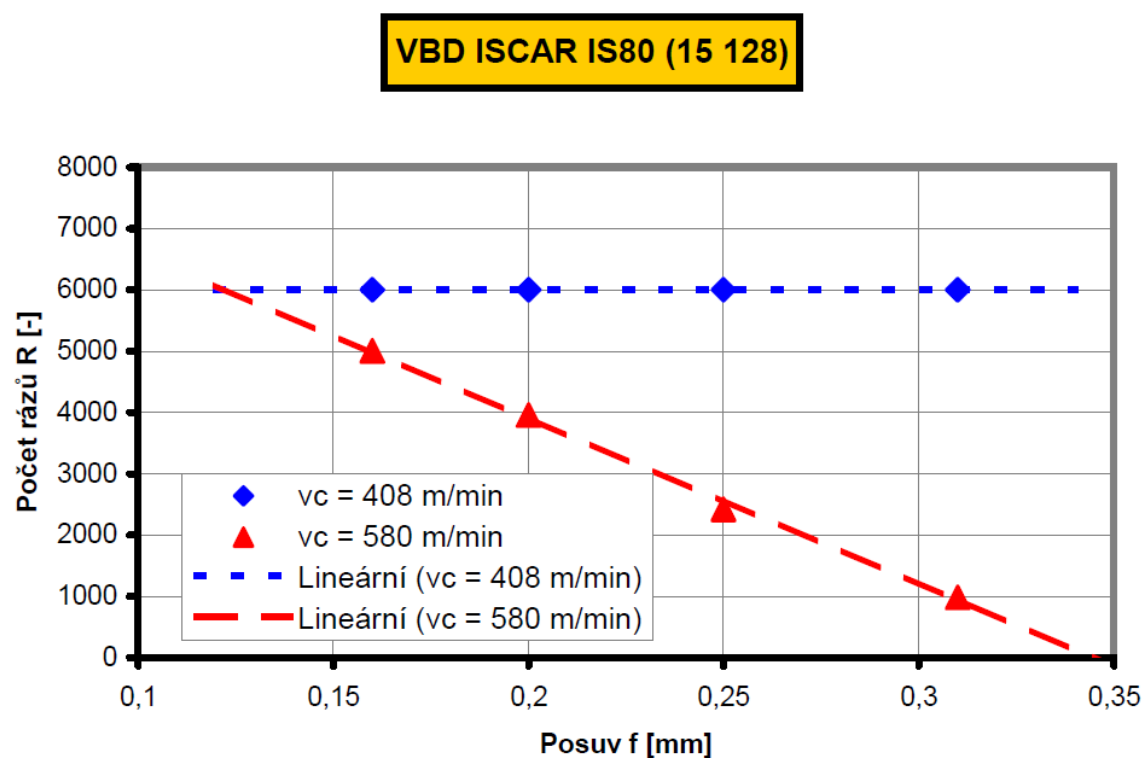
Obr. 7.16 Závislost počtu rázů na řezné rychlosti



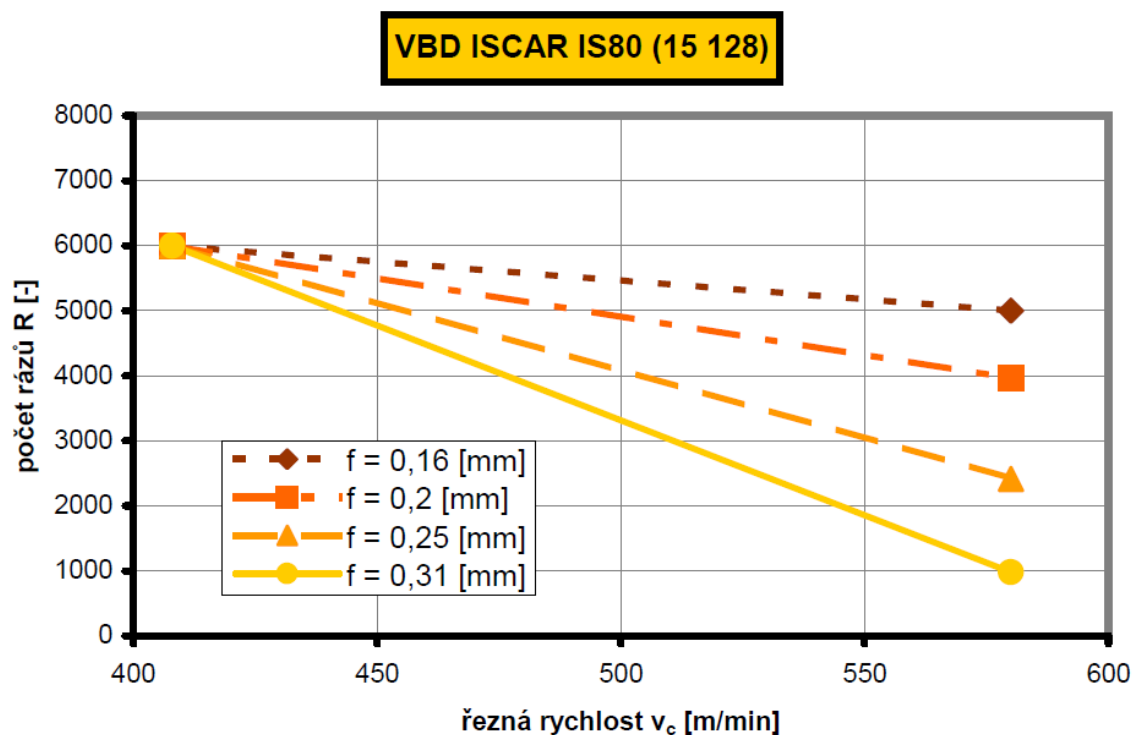
Obr. 7.17 Závislost počtu rázů posuvu



Obr. 7.18 Závislost počtu rázů na řezné rychlosti



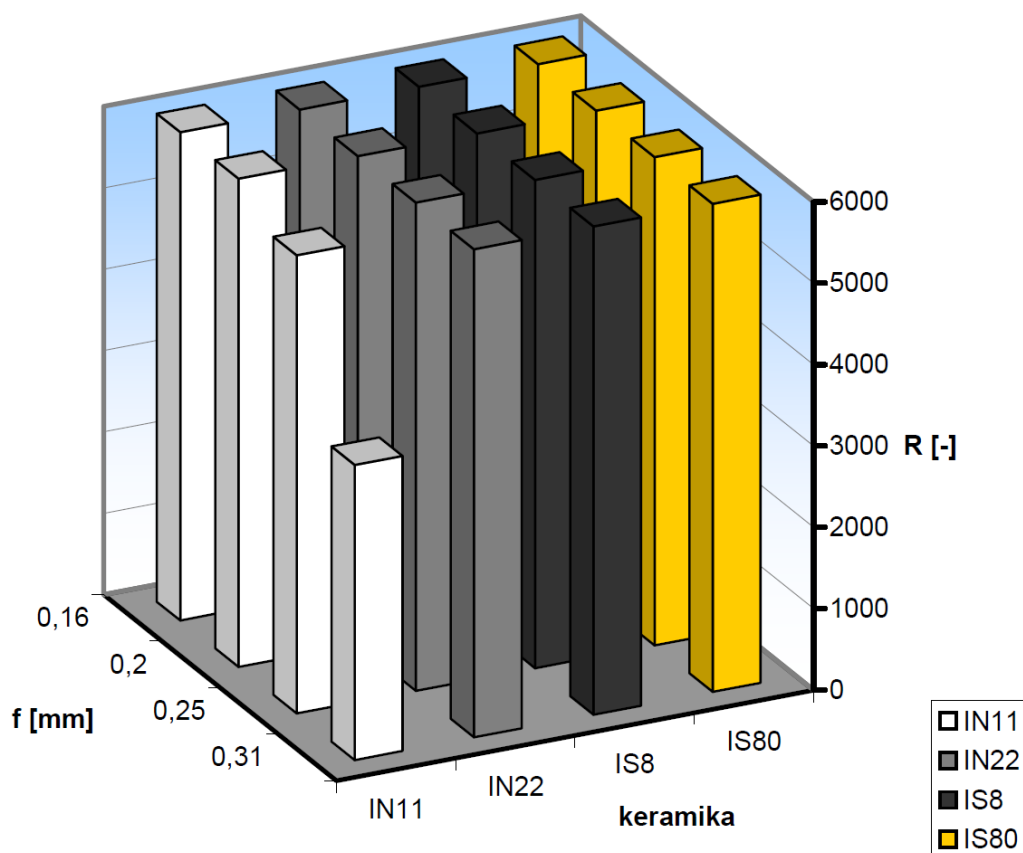
Obr. 7.19 Závislost počtu rázů posuvu



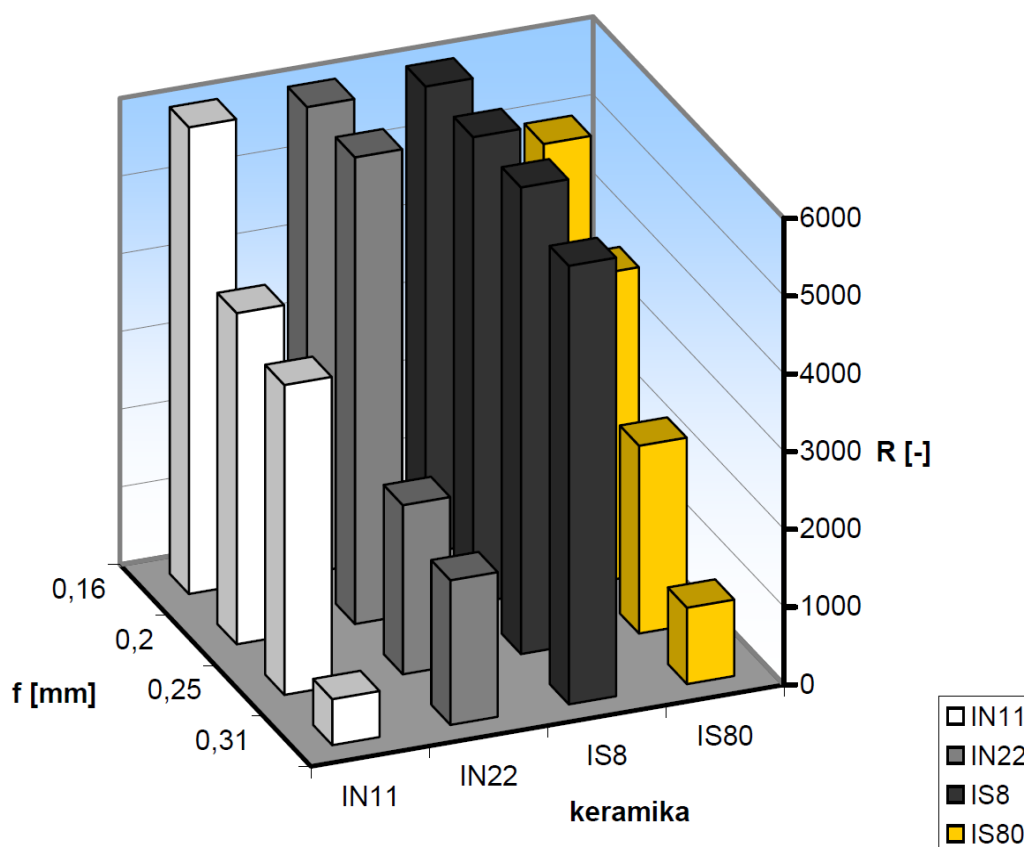
Obr. 7.20 Závislost počtu rázů na řezné rychlosti

Z následujícího grafu (obr. 7.21) vidíme, že při řezné rychlosti $v_c = 408$ m/min vydržely všechny testované druhy řezné keramiky maximální počet 6000 rázů. Výjimku tvořila bílá oxidová keramika IN11 (Al_2O_3+TiCN), kde počet rázů od posuvu $f = 0,25$ mm začal prudce klesat. Z grafu (obr. 7.22) pro řeznou rychlost $v_c = 580$ m/min je vidět, že počty rázů pro jednotlivé posuvy poklesly. Rapidní pokles počtu rázů, tedy snížení houževnatosti při přerušovaném řezu byl patrný u nitridové keramiky IS80 s CVD povlakem. Je to zajímavé, protože se jedná o podobné složení jako u nepovlakované nitridové keramiky IS8. Řezná keramika IS8 naopak vykazovala nejvyšší houževnatost při přerušovaném řezu pro materiál 15 128 u obou řezných rychlostí. Velký skok snížení počtu rázů je možné vidět u oxidové keramiky IN22 od posuvu $f = 0,25$ m, při řezné rychlosti $v_c = 408$ m/min. Graf (obr. 7.23) ukazuje srovnání počtu rázů pro obě řezné rychlosti.

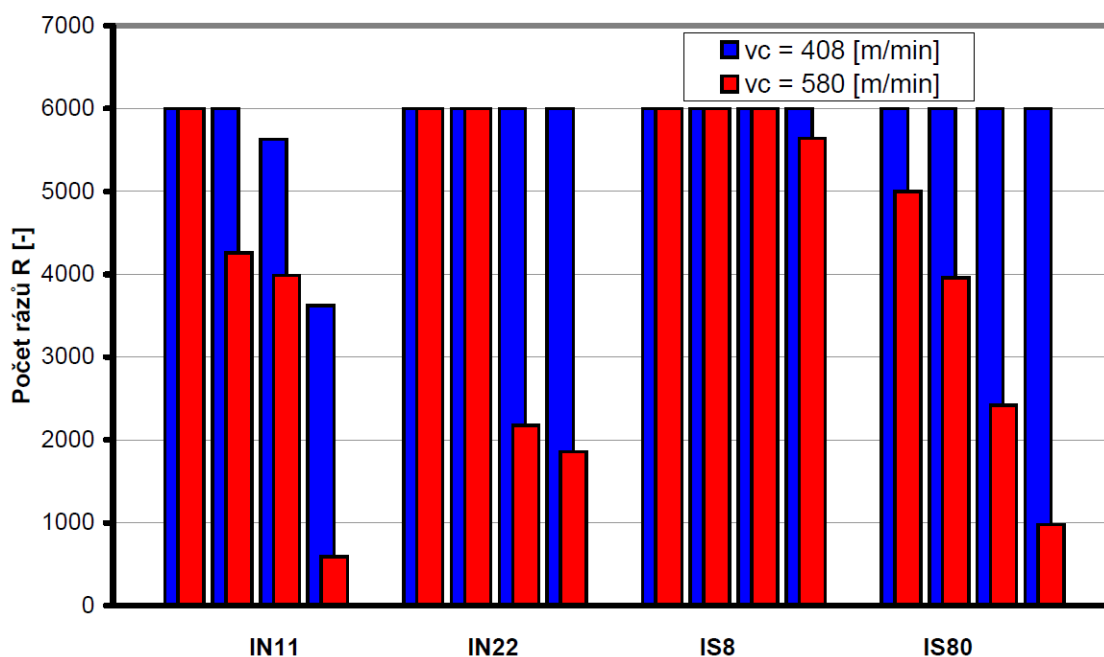
VBD ISCAR IN11, IN22, IS8, IS80, $v_c = 408$ [m/min] (15 128)



Obr. 7.21 Závislost počtu rázů na posuvech pro řeznou rychlost $v_c = 408$ m/min

VBD ISCAR IN11, IN22, IS8, IS80, $v_c = 580$ [m/min] (15 128)Obr. 7.22 Závislost počtu rázů na posuvech pro řeznou rychlost $v_c = 580$ m/min

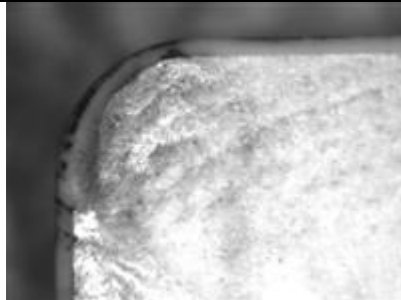

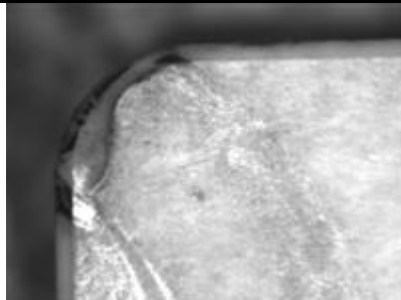

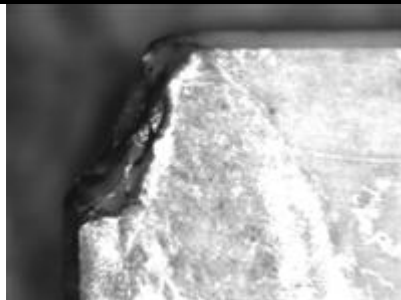
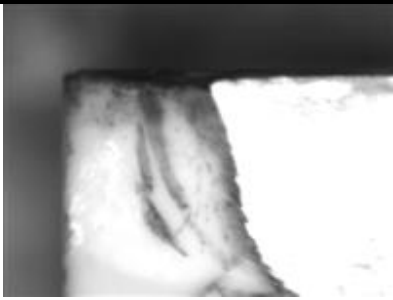



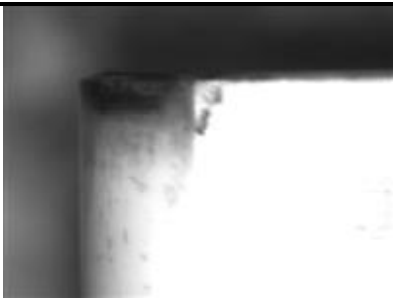
VBD ISCAR IN11, IN22, IS8, IS80 (15 128)

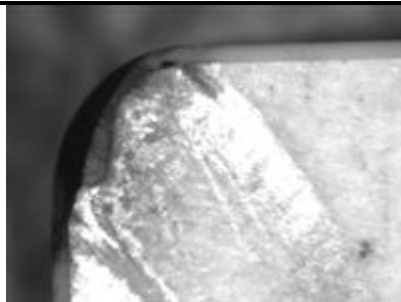

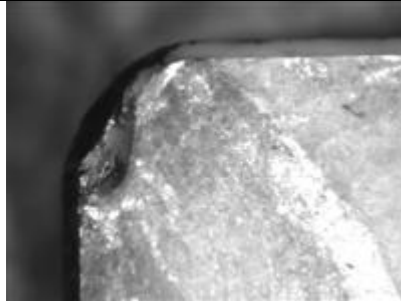
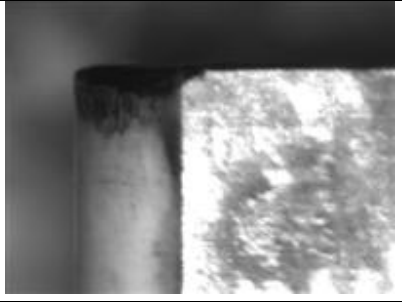
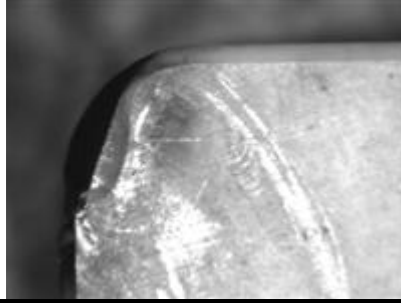

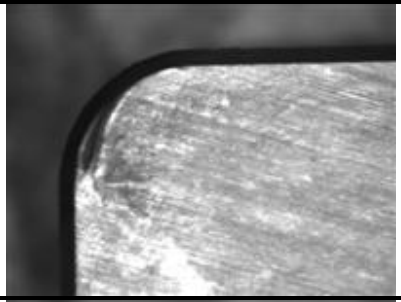
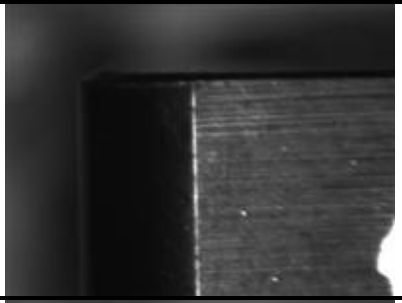









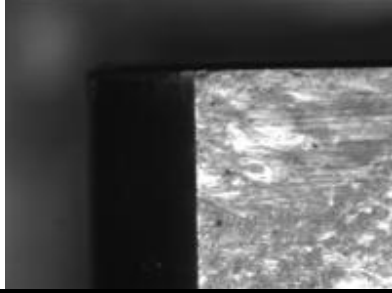


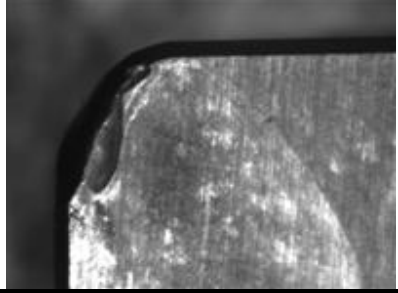

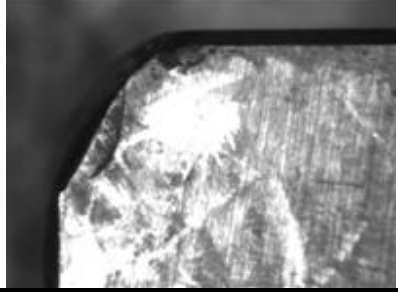
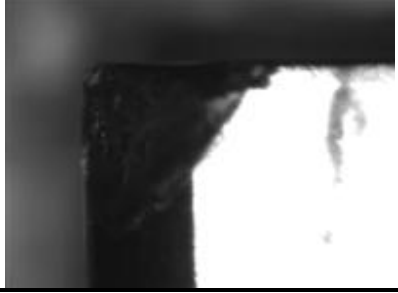
Obr. 7.23 Závislost počtu rázů na posuvu pro obě řezné rychlosti

7.4.2 Ukázky opotřebení keramiky ISCAR pro materiál 15 128

Tab. 7.4. Ukázky opotřebení VBD ISCAR pro materiál lišt 15 128

ISCAR IN11, materiál lišt 15 128 Bílá keramika ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$) vykazující vysokou houževnatost a odolnost proti opotřebení. Určená pro soustružení litiny při vysokých řezných rychlostech, bez chlazení.		
VBD	Čelo nástroje	Hřbet nástroje
IN11_1_A $v_c = 408 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,16 \text{ [mm]}$ $R = 6000 \text{ [-]}$		
IN11_1_D $v_c = 408 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$ $R = 6000 \text{ [-]}$		
IN11_2_A $v_c = 408 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,25 \text{ [mm]}$ $R = 5632 \text{ [-]}$		
IN11_2_D $v_c = 408 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,31 \text{ [mm]}$ $R = 3626 \text{ [-]}$		
IN11_3_A $v_c = 580 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,16 \text{ [mm]}$ $R = 6000 \text{ [-]}$		

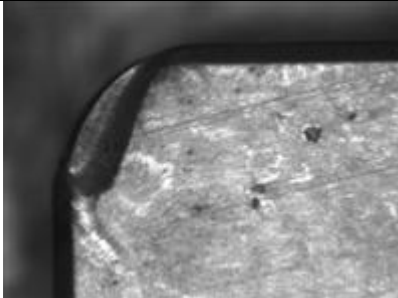

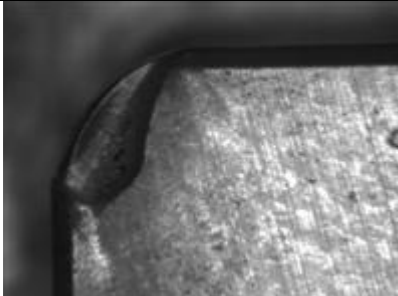

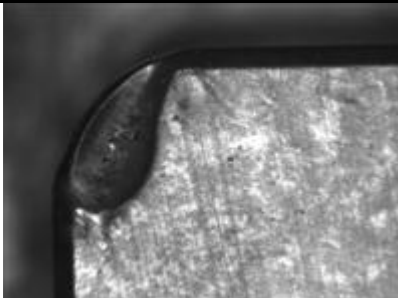

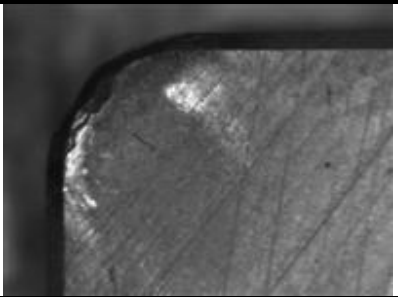

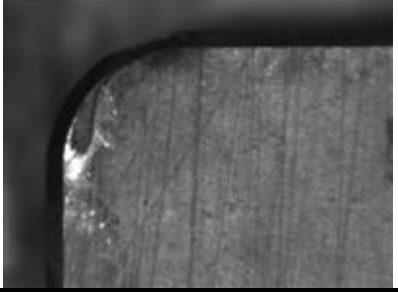

IN11_3_D $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,2$ [mm] $R = 4260$ [-]		
IN11_4_A $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,25$ [mm] $R = 3984$ [-]		
IN11_4_D $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,31$ [mm] $R = 594$ [-]		
ISCAR IN22, materiál lišt 15 128 Černá keramika (Al_2O_3+TiCN) doporučená pro polohrubovací a dokončovací operace šedé a nodulární litiny bez chlazení.		
VBD	Čelo nástroje	Hřbet nástroje
IN22_1_A $v_c = 408$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,16$ [mm] $R = 6000$ [-]		
IN22_1_D $v_c = 408$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,2$ [mm] $R = 6000$ [-]		

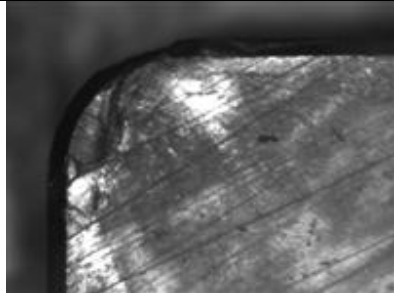
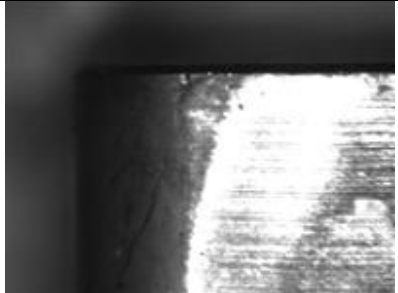
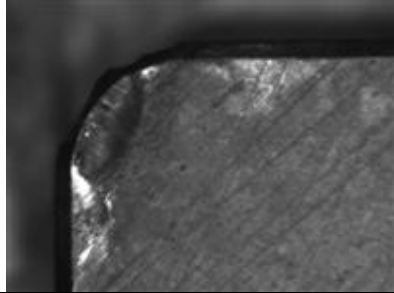
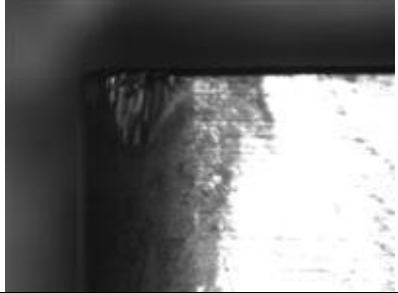
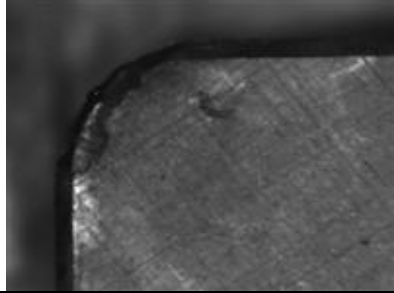
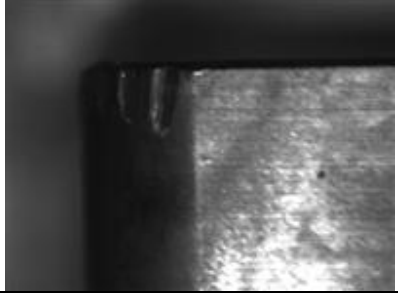
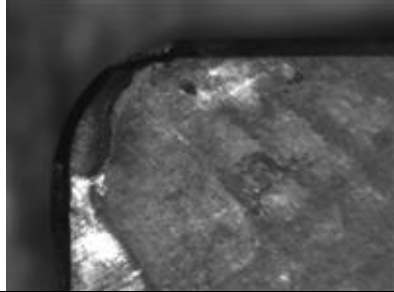
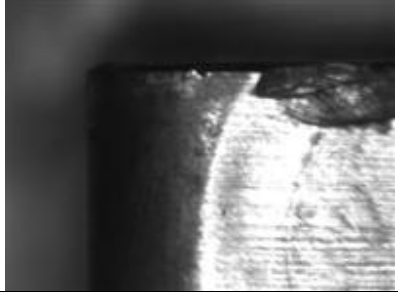
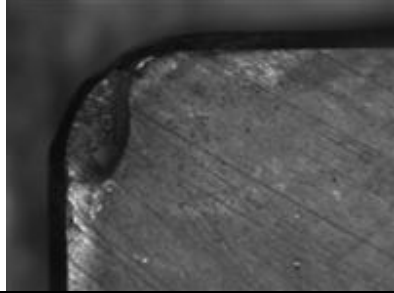

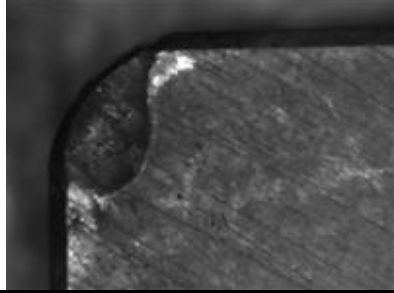
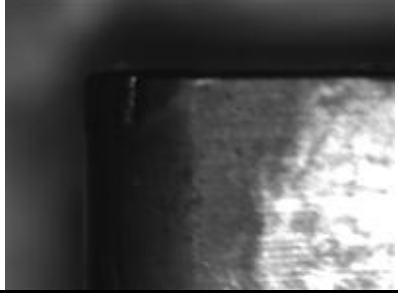
IN22_2_A $v_c = 408$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,25$ [mm] $R = 6000$ [-]		
IN22_2_D $v_c = 408$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,31$ [mm] $R = 6000$ [-]		
IN22_3_A $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,16$ [mm] $R = 6000$ [-]		
IN22_3_D $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,2$ [mm] $R = 6000$ [-]		
IN22_4_A $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,25$ [mm] $R = 2176$ [-]		
IN22_4_D $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,16$ [mm] $R = 1858$ [-]		

ISCAR IS8, materiál lišt 15 128Silikon nitridová keramika ($\text{Si}_3\text{N}_4+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Y}_2\text{O}_3$) doporučená pro střední aplikace soustružení.

Lze použít pro přerušovaný řez (frézování).

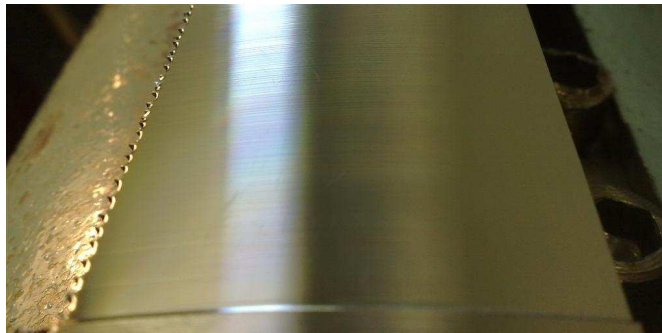
VBD	Čelo nástroje	Hřbet nástroje
IS8_1_A $v_c = 408 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,16 \text{ [mm]}$ $R = 6000 \text{ [-]}$		
IS8_1_B $v_c = 408 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$ $R = 6000 \text{ [-]}$		
IS8_1_C $v_c = 408 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,25 \text{ [mm]}$ $R = 6000 \text{ [-]}$		
IS8_1_D $v_c = 408 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,31 \text{ [mm]}$ $R = 6000 \text{ [-]}$		
IS8_2_A $v_c = 580 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,16 \text{ [mm]}$ $R = 6000 \text{ [-]}$		

IS8_2_B $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,2$ [mm] $R = 6000$ [-]		
IS8_2_C $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,25$ [mm] $R = 6000$ [-]		
IS8_2_D $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,16$ [mm] $R = 5639$ [-]		
ISCAR IS80, materiál lišt 15 128 Silikon nitridová keramika ($\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3$) s CVD Si_3N_4 povlakem, Určeno pro hrubovací soustružnické a frézovací operace na šedé a modulární litině.		
VBD	Čelo nástroje	Hřbet nástroje
IS80_1_A $v_c = 408$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,16$ [mm] $R = 6000$ [-]		
IS80_1_D $v_c = 408$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,2$ [mm] $R = 6000$ [-]		

IS80_2_A $v_c = 408$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,25$ [mm] $R = 6000$ [-]		
IS80_2_D $v_c = 408$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,31$ [mm] $R = 6000$ [-]		
IS80_3_A $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,16$ [mm] $R = 5000$ [-]		
IS80_3_D $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,2$ [mm] $R = 3960$ [-]		
IS80_4_A $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,25$ [mm] $R = 2416$ [-]		
IS80_4_D $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,31$ [mm] $R = 981$ [-]		

7.4.3 Zhodnocení opotřebení VBD ISCAR pro materiál lišt 15 128

V (tab. 7.4) jsou uvedeny snímky opotřebení čela a hřbetu. Snímky jsou ve 4 násobném zvětšení, pořízené mikroskopem INTRACO MICRO. Ze všech snímků je patrné, že opotřebení se zvětšovalo s rostoucím posuvem a zvyšující se řeznou rychlostí. U bílé oxidové keramiky IN11 můžeme pozorovat opotřebení ve formě křehkého lomu a vydrolení ostří, není zde patrné opotřebení ve tvaru žlábků. Černá oxidová keramika IN22 ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiCN}$) vykazovala opotřebení ve tvaru žlábků na čele nástroje, u vyšší řezné rychlosti a vyšších posuvech potom docházelo k vydrolení ostří. U tohoto typu keramiky byl zaznamenán velmi pěkný obroběný povrch (obr. 7.24).



Obr. 7.24 Dobrá kvalita povrchu u oxidové keramiky IN22

Silikon nitridová keramika IS8 se jevila jako houževnatá, nedošlo ke křehkému lomu, ale na čele nástroje bylo patrné výrazné opotřebení ve tvaru žlábků. Také bylo vidět opotřebení na hřbetní ploše bříty. Nitridová keramika IS80 s CVD povlakem měla podobné opotřebení jako keramika IS8, opotřebení ve tvaru žlábků na čele nebylo tak výrazné (hluboké) jako u typu IS8, bylo to díky CVD povlaku. Výrazné bylo ale opotřebení na hřbetní ploše, to mělo za následek zhoršení kvality obroběného povrchu (obr. 7.24)



Obr. 7.24 Zhoršená kvalita povrchu u nitridové keramiky IS80

7.5 Vyhodnocení testů pro materiál lišt 12 050 (C45)

Druhým testovaným obráběným materiálem lišt pro řeznou keramiku ISCAR byl materiál etalonová ocel 12 050 (C45). Jak je vidět s naměřených hodnot (tab. 7.5), hraničního počtu 6000 rázů dosáhla pouze oxidová keramika IN22, a to při nejnižším posuvu a nižší řezné rychlosti. Naměřené hodnoty počtu rázů celkově vypovídají o tom, že obráběný materiál ocel 12 050 vykazuje horší obrobitelnost pro řeznou keramiku ISCAR než ocel 15 128. Je to dáno vyššími mechanickými vlastnosti oceli 12 050 a hlavně vyšší tvrdostí tohoto materiálu. Tyto naměřené hodnoty jsou opět vyjádřeny graficky v závislosti počtu rázů na posuvu (obr 7.25, obr 7.27, obr 7.29, obr 7.31) a počtu rázů na řezné rychlosti (obr 7.26, obr 7.28, obr 7.30, obr 7.32)

Tab. 7.5 Naměřené hodnoty pro materiál lišt 12 050 (C45)

IN11 $n = 500 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 408 \text{ [m/min]}, a_p = 1 \text{ [mm]}$			
VBD	$f \text{ [mm]}$	$l \text{ [mm]}$	$R \text{ [-]}$
IN11_5_A	0,16	166	4150
IN11_5_D	0,2	198	3960
IN11_6_A	0,25	151	2416
IN11_6_D	0,31	76	981

IN11 $n = 710 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 580 \text{ [m/min]}, a_p = 1 \text{ [mm]}$			
VBD	$f \text{ [mm]}$	$l \text{ [mm]}$	$R \text{ [-]}$
IN11_7_A	0,16	86	2150
IN11_7_D	0,2	83	1660
IN11_8_A	0,25	95	1520
IN11_8_D	0,31	50	645

IN22 $n = 500 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 408 \text{ [m/min]}, a_p = 1 \text{ [mm]}$			
VBD	$f \text{ [mm]}$	$l \text{ [mm]}$	$R \text{ [-]}$
IN22_5_A	0,16	240	6000
IN22_5_D	0,2	162	3240
IN22_6_A	0,25	84	1344
IN22_6_D	0,31	50	645

IN22 $n = 710 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 580 \text{ [m/min]}, a_p = 1 \text{ [mm]}$			
VBD	$f \text{ [mm]}$	$l \text{ [mm]}$	$R \text{ [-]}$
IN22_7_A	0,16	40	1000
IN22_8_A	0,2	75	1500
IN22_8_B	0,25	32	512
IN22_8_C	0,31	17	219

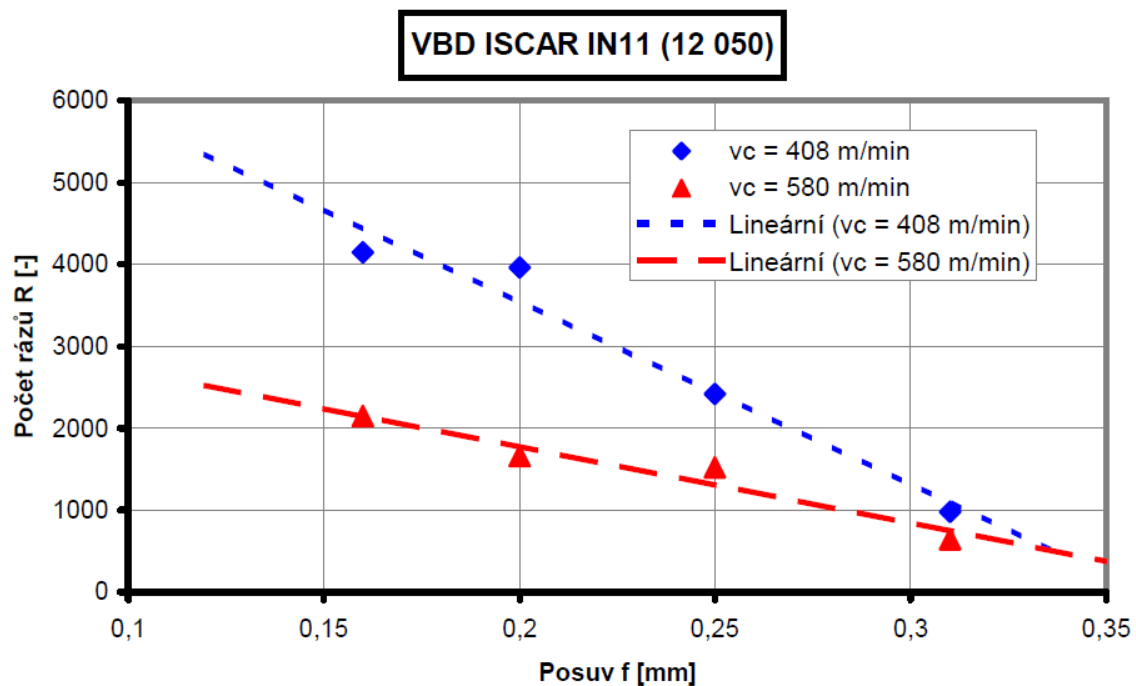
IS8 $n = 500 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 408 \text{ [m/min]}, a_p = 1 \text{ [mm]}$			
VBD	$f \text{ [mm]}$	$l \text{ [mm]}$	$R \text{ [-]}$
IS8_3_A	0,16	164	4100
IS8_3_B	0,2	169	3380
IS8_3_C	0,25	98	1568
IS8_3_D	0,31	70	903

IS8 $n = 710 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 580 \text{ [m/min]}, a_p = 1 \text{ [mm]}$			
VBD	$f \text{ [mm]}$	$l \text{ [mm]}$	$R \text{ [-]}$
IN11_4_A	0,16	63	1575
IN11_4_B	0,2	46	920
IN11_4_C	0,25	54	864
IN11_4_D	0,31	59	761

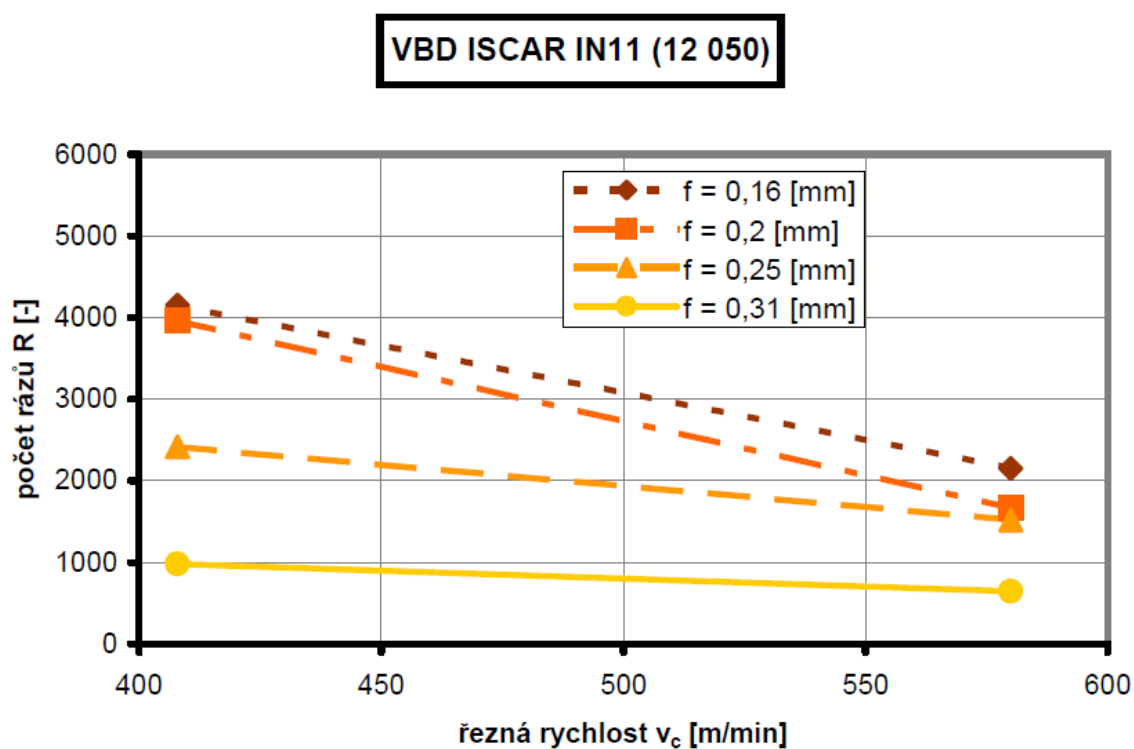
IS80 $n = 500 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 408 \text{ [m/min]}, a_p = 1 \text{ [mm]}$			
VBD	$f \text{ [mm]}$	$l \text{ [mm]}$	$R \text{ [-]}$
IS80_5_A	0,16	128	3200
IS80_5_D	0,2	140	2800
IS80_6_A	0,25	73	1168
IS80_6_D	0,31	51	658

IS80 $n = 710 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 580 \text{ [m/min]}, a_p = 1 \text{ [mm]}$			
VBD	$f \text{ [mm]}$	$l \text{ [mm]}$	$R \text{ [-]}$
IS80_7_A	0,16	56	1400
IS80_7_D	0,2	49	980
IS80_8_A	0,25	52	832
IS80_8_D	0,31	78	1006

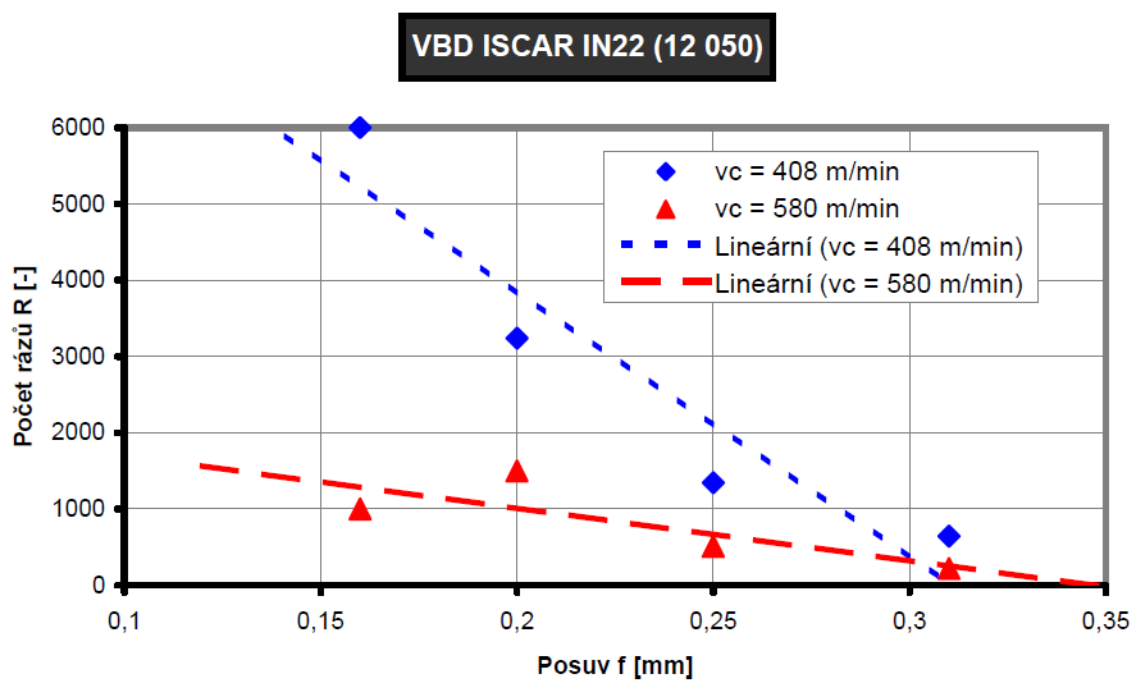
7.5.1 Grafické závislosti VBD ISCAR pro materiál 12 050



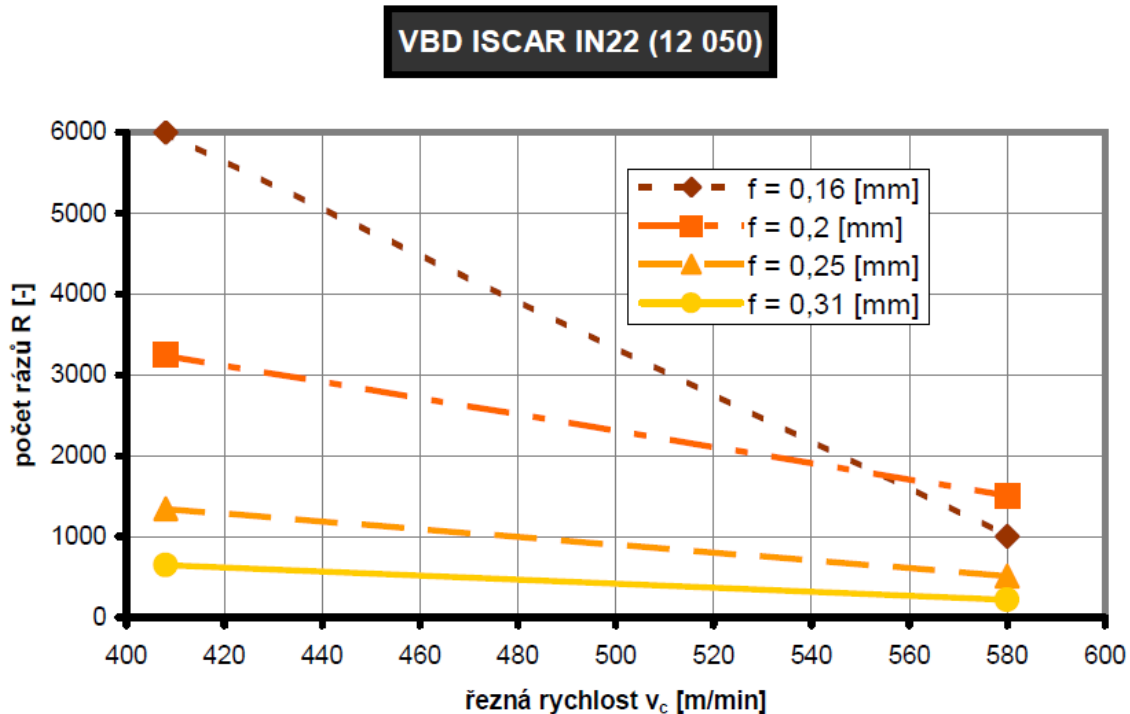
Obr. 7.25 Závislost počtu rázů na posuvu



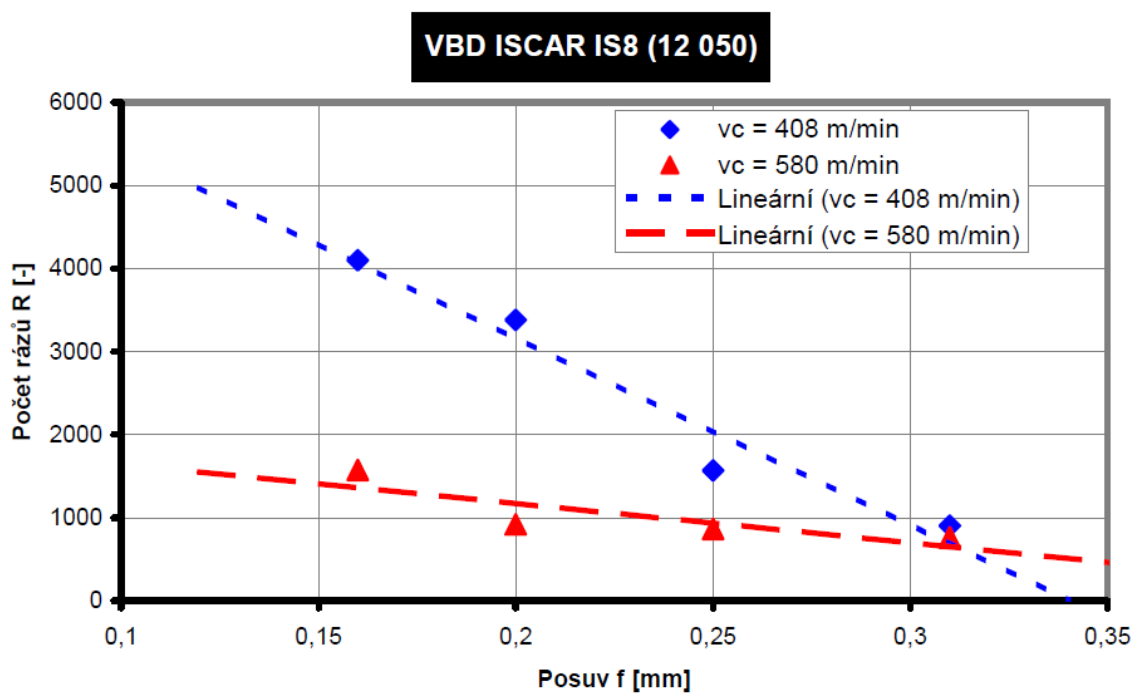
Obr. 7.26 Závislost počtu rázů na řezné rychlosti



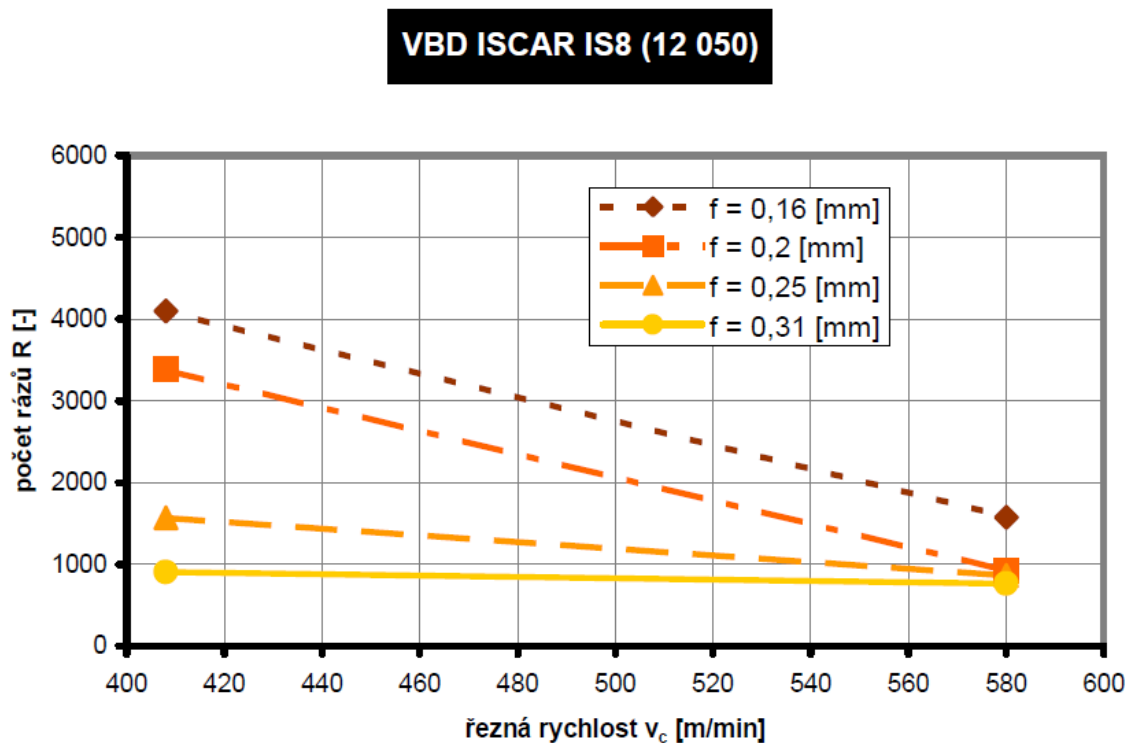
Obr. 7.27 Závislost počtu rázů na posuvu



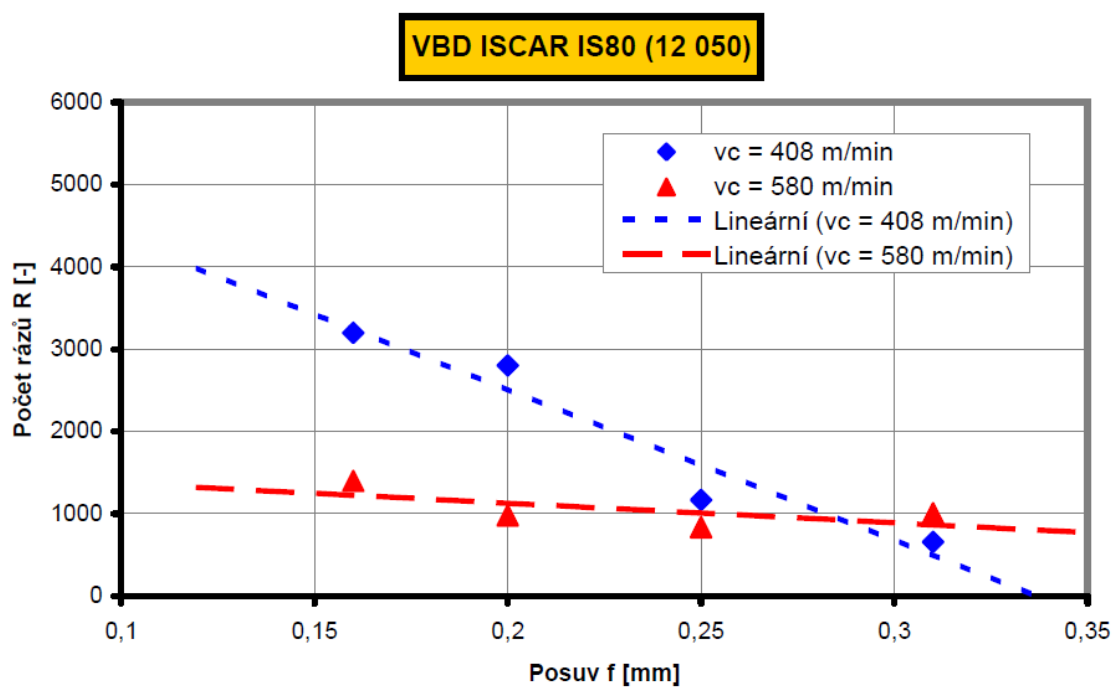
Obr. 7.28 Závislost počtu rázů na řezné rychlosti



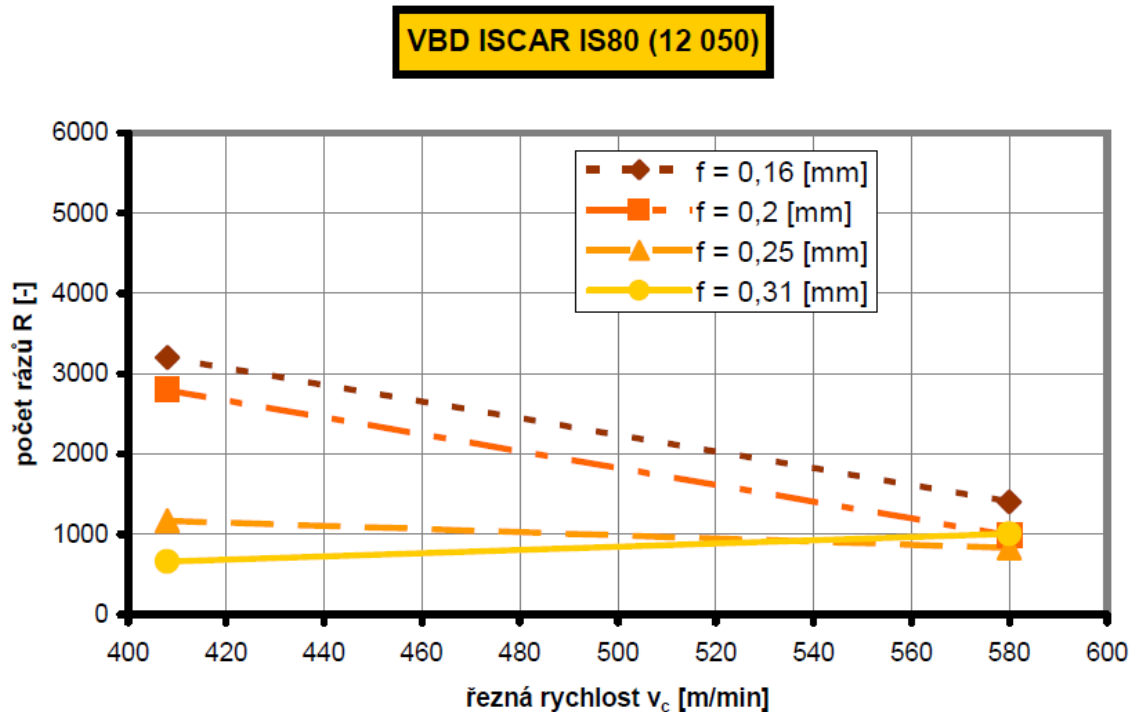
Obr. 7.29 Závislost počtu rázů na posuvu



Obr. 7.30 Závislost počtu rázů na řezné rychlosti



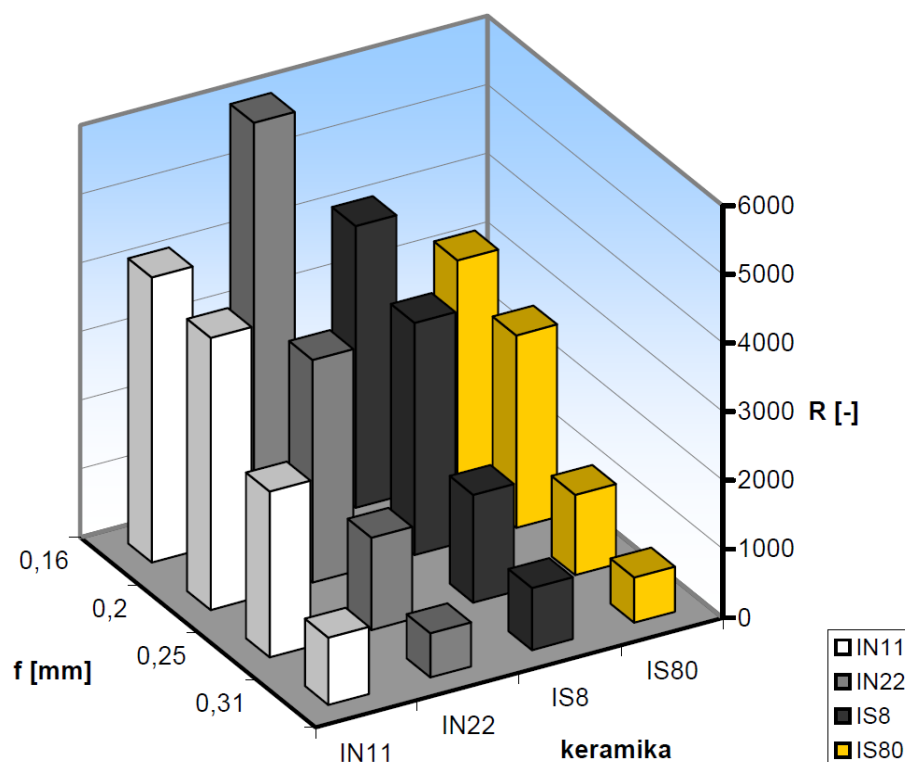
Obr. 7.31 Závislost počtu rázů na posuvu

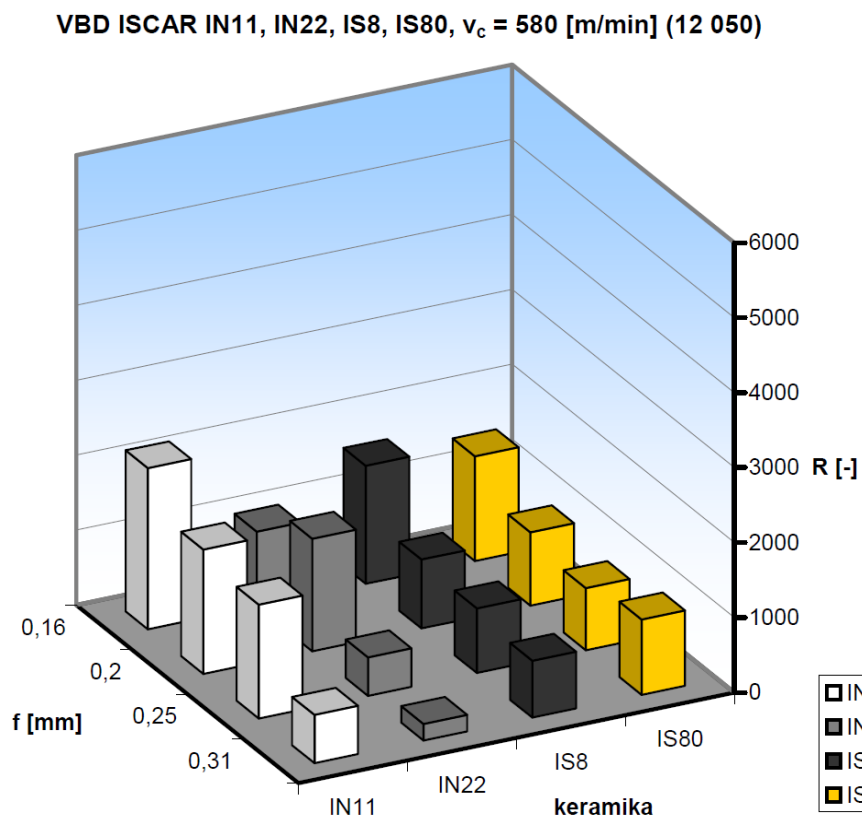
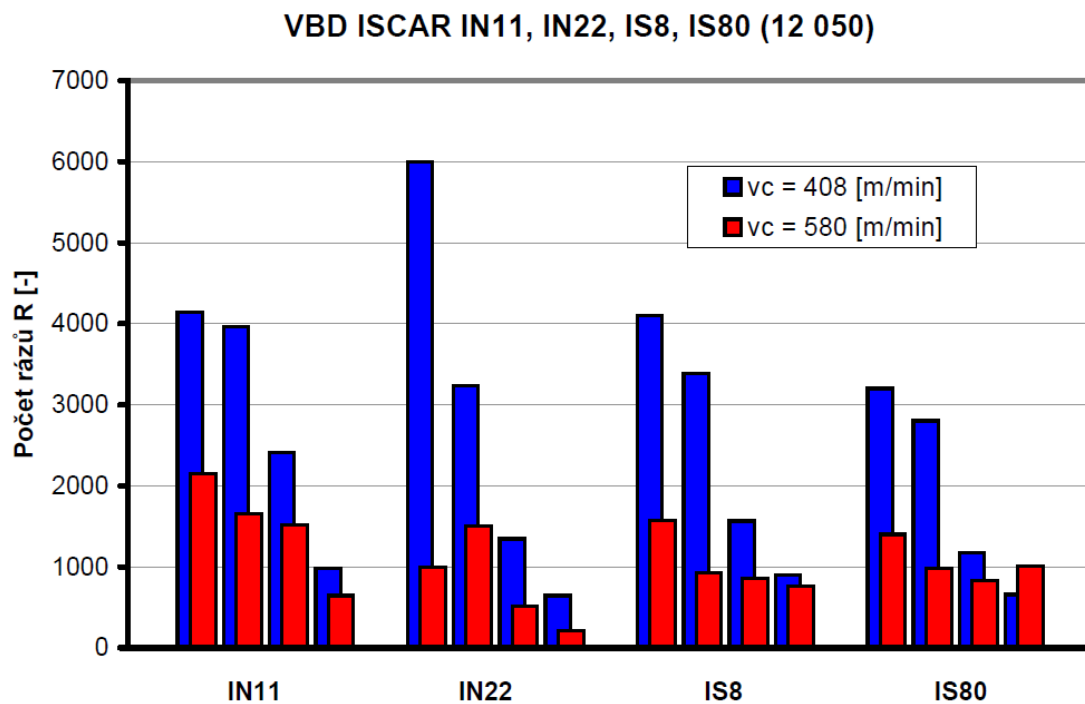


Obr. 7.32 Závislost počtu rázů na řezné rychlosti

Srovnání všech testovaných keramik ISCAR pro materiál 12 050 v závislosti počtu rázů na posuvu můžeme vidět na následujících dvou grafech (obr. 7.33, obr. 7.34). Na první pohled je vidět, že počty rázů za stejných obráběcích podmínek jsou podstatně nižší než u materiálu 15 128, je to dáno horší obrobiteľností oceli lišt 12 050 pro řeznou keramiku ISCAR. Dále vidíme, že počty rázů klesají se zvyšujícím se posuvem a jsou nižší u vyšší řezné rychlosti. Pro materiál 12 050 vykazovala větší houževnatost při přerušovaném řezu oxidová keramika IN11 a IN22, a to hlavně u nižší testované řezné rychlosti. Nejvyšší houževnatost při přerušovaném řezu pro etalonový materiál měla bílá oxidová keramika IN11. Nejstrmější pokles počtu rázů se stoupajícím posuvem byly zaznamenány u keramiky IN22. Z nitridových keramik IS8 a IS80 při řezné rychlosti $v_c = 408$ m/min měla vyšší houževnatost keramika IS8, u vyšší řezné rychlosti $v_c = 580$ m/min byly nitridové keramiky IS8 a IS80 s houževnatostí přibližně stejné. U vyšší řezné rychlosti vykazovala nejmenší houževnatost černá oxidová keramika IN22. Graf (obr 7.35) srovnává počty rázů pro obě řezné rychlosti, je patrné, že při nižší řezné rychlosti počty rázů strměji klesaly než při vyšší řezné rychlosti. U obráběného materiálu 15 128 tomu bylo naopak.

VBD ISCAR IN11, IN22, IS8, IS80, $v_c = 408$ [m/min] (12 050)

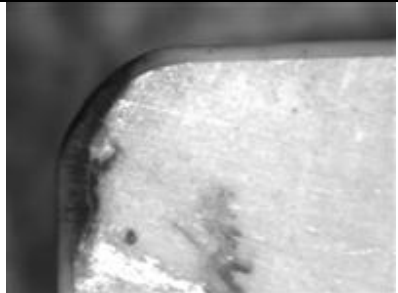

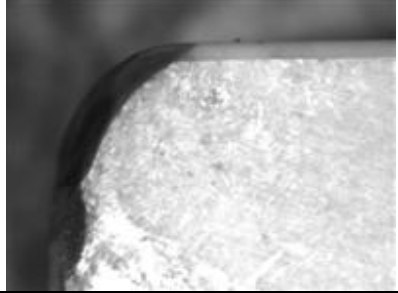

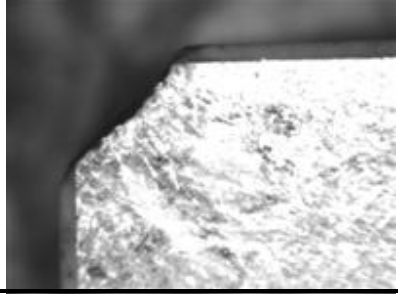

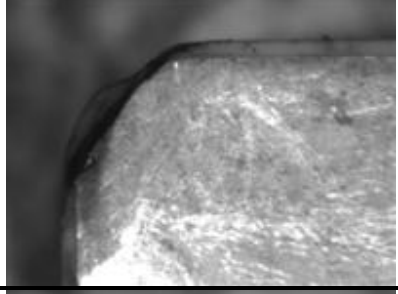


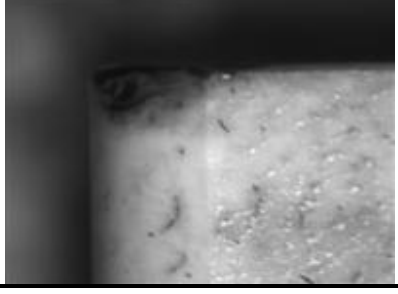


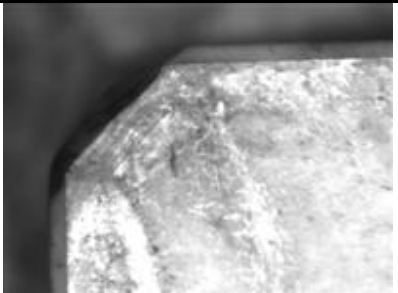

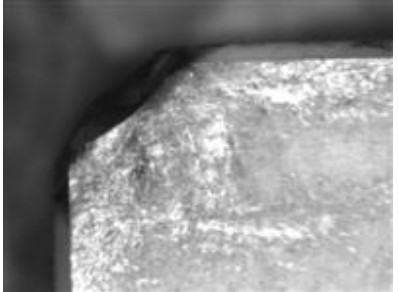
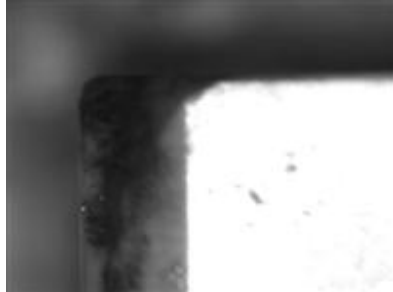


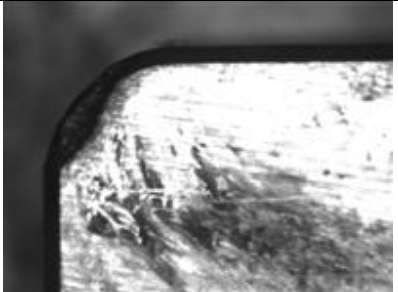

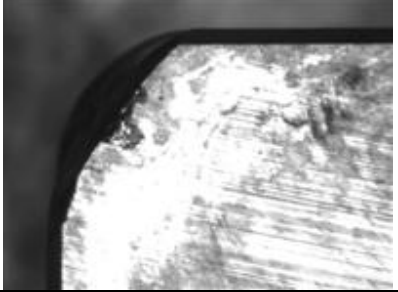
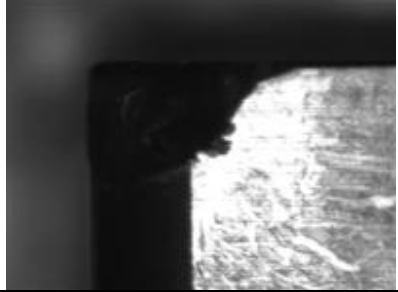
Obr. 7.33 Závislost počtu rázů na posuvech pro řeznou rychlost $v_c = 408 \text{ m/min}$ Obr. 7.34 Závislost počtu rázů na posuvech pro řeznou rychlost $v_c = 580 \text{ m/min}$ 



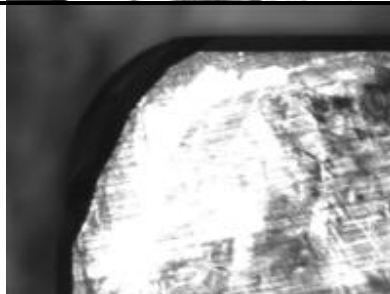



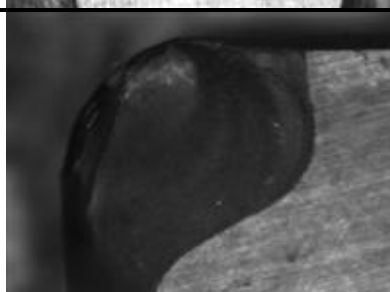

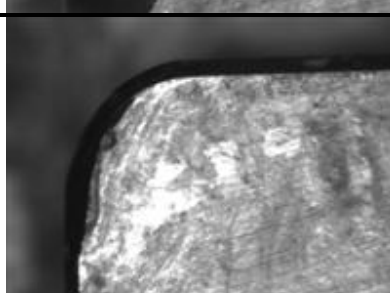

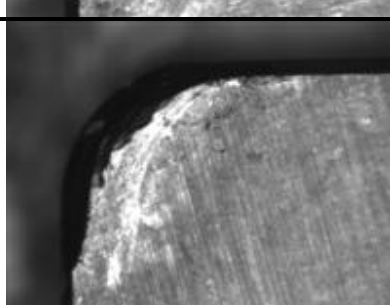

Obr. 7.35 Závislost počtu rázů na posuvu pro obě řezné rychlosti

7.5.2 Ukázky opotřebení keramiky ISCAR pro materiál 12 050

Tab. 7.6 Ukázky opotřebení VBD ISCAR pro materiál lišt 12 050

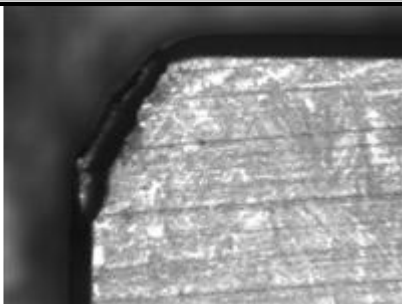
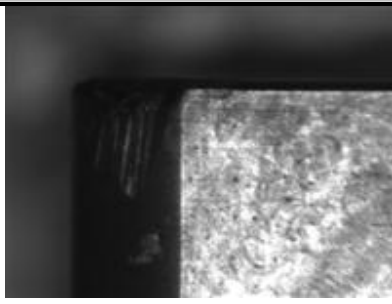
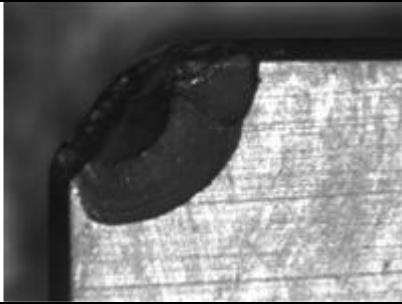

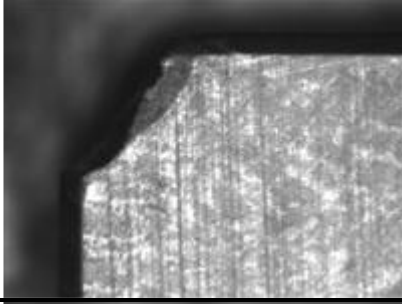


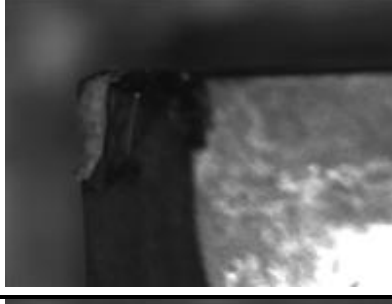
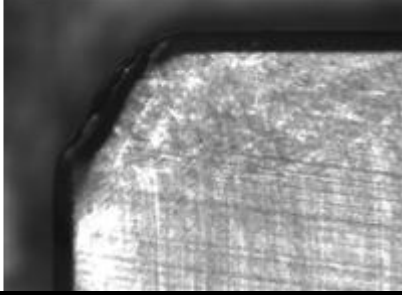

ISCAR IN11 materiál lišt 12 050 Bílá keramika ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$) vykazující vysokou houževnatost a odolnost proti opotřebení. Určená pro soustružení litiny při vysokých řezných rychlostech, bez chlazení.		
VBD	Čelo nástroje	Hřbet nástroje
IN11_5_A $v_c = 408 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,16 \text{ [mm]}$ $R = 4150 \text{ [-]}$		
IN11_5_D $v_c = 408 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$ $R = 3960 \text{ [-]}$		
IN11_6_A $v_c = 408 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,25 \text{ [mm]}$ $R = 2416 \text{ [-]}$		
IN11_6_D $v_c = 408 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,35 \text{ [mm]}$ $R = 981 \text{ [-]}$		
IN11_7_A $v_c = 580 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,16 \text{ [mm]}$ $R = 2150 \text{ [-]}$		

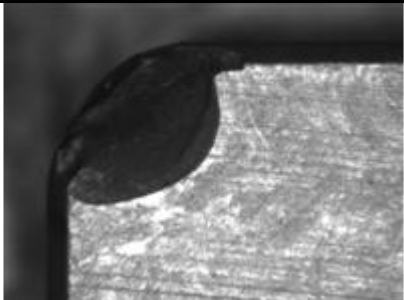

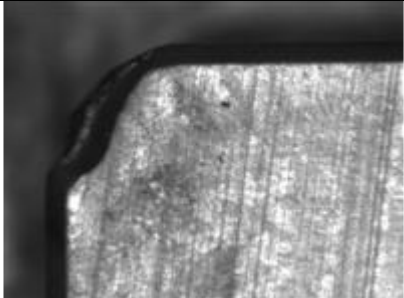
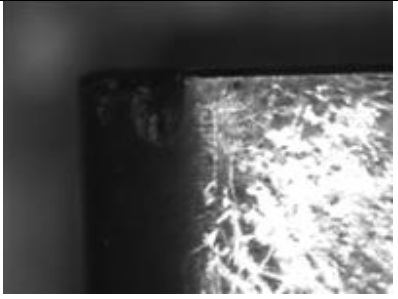
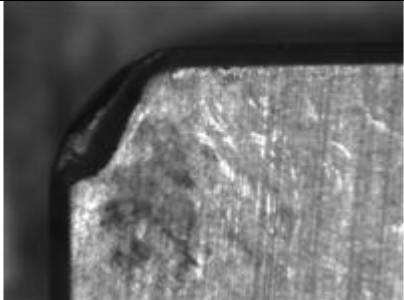
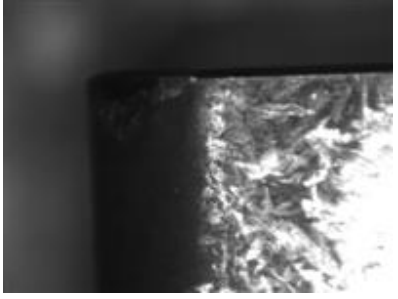
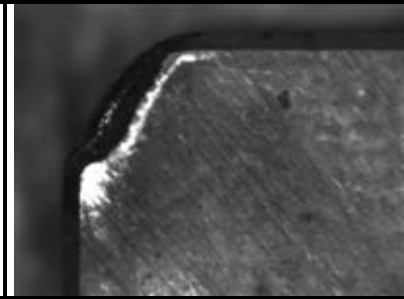

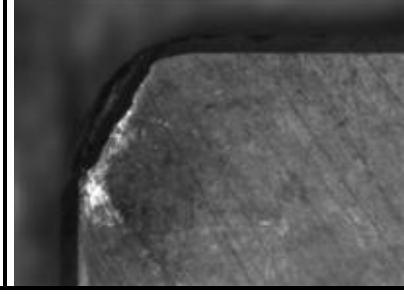

IN11_7_D $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,2$ [mm] $R = 1660$ [-]		
IN11_8_A $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,25$ [mm] $R = 1520$ [-]		
IN11_8_D $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,31$ [mm] $R = 645$ [-]		
ISCAR IN22, materiál lišt 12 050 Černá keramika (Al_2O_3+TiCN) doporučená pro polohrubovací a dokončovací operace šedé a nodulární litiny bez chlazení.		
VBD	Čelo nástroje	Hřbet nástroje
IN22_5_A $v_c = 408$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,16$ [mm] $R = 6000$ [-]		
IN22_5_D $v_c = 408$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,2$ [mm] $R = 3240$ [-]		

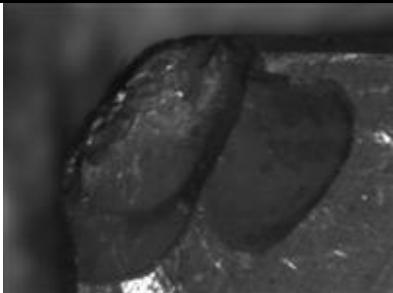

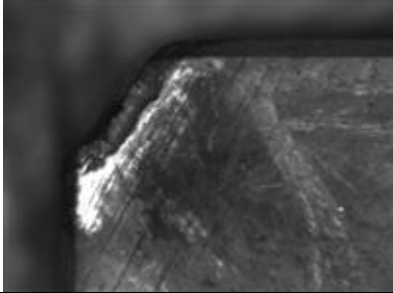

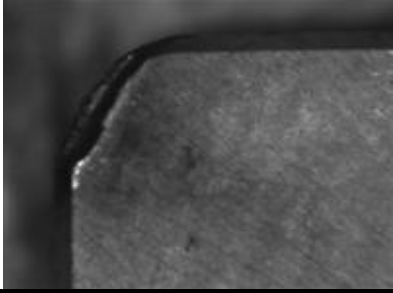
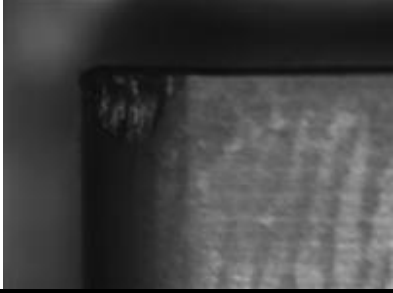
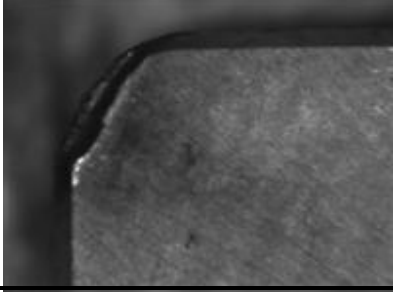

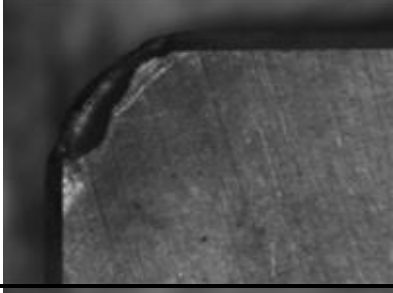

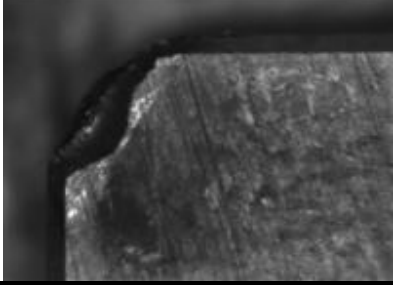

<p>IN22_6_A</p> <p>$v_c = 408$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,25$ [mm] $R = 1344$ [-]</p>		
<p>IN22_6_D</p> <p>$v_c = 408$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,31$ [mm] $R = 645$ [-]</p>		
<p>IN22_7_A</p> <p>$v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,16$ [mm] $R = 1000$ [-]</p>		
<p>IN22_8_A</p> <p>$v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,2$ [mm] $R = 1500$ [-]</p>		
<p>IN22_8_B</p> <p>$v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,25$ [mm] $R = 512$ [-]</p>		
<p>IN22_8_C</p> <p>$v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,31$ [mm] $R = 219$ [-]</p>		

ISCAR IS8, materiál lišt 12 050

Silikon nitridová keramika ($\text{Si}_3\text{N}_4+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Y}_2\text{O}_3$) doporučená pro střední aplikace soustružení.
Lze použít pro přerušovaný řez (frézování).

VBD	Čelo nástroje	Hřbet nástroje
IS8_3_A $v_c = 408 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,16 \text{ [mm]}$ $R = 4100 \text{ [-]}$		
IS8_3_B $v_c = 408 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$ $R = 3380 \text{ [-]}$		
IS8_3_C $v_c = 408 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,25 \text{ [mm]}$ $R = 1568 \text{ [-]}$		
IS8_3_D $v_c = 408 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,31 \text{ [mm]}$ $R = 903 \text{ [-]}$		
IS8_4_A $v_c = 580 \text{ [m/min]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,16 \text{ [mm]}$ $R = 1575 \text{ [-]}$		

IS8_4_B $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,2$ [mm] $R = 920$ [-]		
IS8_4_C $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,25$ [mm] $R = 864$ [-]		
IS8_4_D $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,31$ [mm] $R = 761$ [-]		
ISCAR IS80 materiál lišt 12 050 Silikon nitridová keramika ($\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3$) s CVD Si_3N_4 povlakem, Určeno pro hrubovací soustružnické a frézovací operace na šedé a modulární litině.		
VBD	Čelo nástroje	Hřbet nástroje
IS80_5_A $v_c = 408$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,16$ [mm] $R = 3200$ [-]		
IS80_5_D $v_c = 408$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,2$ [mm] $R = 2800$ [-]		

IS80_6_A $v_c = 408$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,25$ [mm] $R = 1168$ [-]		
IS80_6_D $v_c = 408$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,31$ [mm] $R = 658$ [-]		
IS80_7_A $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,16$ [mm] $R = 1400$ [-]		
IS80_7_D $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,2$ [mm] $R = 980$ [-]		
IS80_8_A $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,25$ [mm] $R = 832$ [-]		
IS80_8_D $v_c = 580$ [m/min] $a_p = 1$ [mm] $f = 0,31$ [mm] $R = 1006$ [-]		

7.5.3 Zhodnocení opotřebení VBD ISCAR pro materiál lišt 12 050

V (tab. 7.6) jsou zaznamenány jednotlivé snímky opotřebení čela a hřbetu nástrojů řezné keramiky ISCAR ve 4 násobném zvětšení, testované při přerušovaném řezu na obráběném materiálu lišt 12 050. Jak je patrné, u obráběného materiálu 12 050 docházelo častěji k lomu bříty nástroje ve srovnání opotřebení s materiálem 15 128. Je to způsobeno horší obrobitelností materiálu 12 050 a faktem, že destičky nedosáhly hraničního počtu 6000 rázů. Maximální počet 6000 rázů dosáhla pouze černá oxidová keramika IN22 u nejnižšího posuvu $f = 0,16$ mm a nižší řezné rychlosti $v_c = 408$ m/min. Ze snímku opotřebení je u všech druhů testovaných řezných keramik vidět, že kde nedošlo během testování k lomu bříty, docházelo k intenzivnímu vydrolování ostří. U nitridových keramik IS8 a IS80 si můžeme opět všimnout opotřebení hřbetu bříty, to patří mezi abrazivní formy opotřebení. Oxidové keramiky IN11 a IN22 tuto formu opotřebení nemají, což hovoří o jejich velké tvrdosti a vyšší otěruvzdornosti, ale naopak nižší houževnatosti způsobené častým křehkým lomem.

8 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zjistit chování řezné keramiky při přerušovaném řezu. Testovány byly 4 druhy řezné keramiky od výrobce ISCAR. Jednalo se o 2 oxidové keramiky IN11, IN22 a 2 nitridové keramiky IS8, IS80, přičemž nitridová keramika IS80 byla s CVD povlakem. Pro přerušovaný řez byla určena zkouška podélného soustružení na speciálním přípravku zhotoveným na Katedře obrábění a montáže Fakulty strojní VŠB – TU Ostrava. Obráběným materiálem lišt byla etalonová ocel 12 050 (C45) a ocel 15 128 (13MoCrV6).

Všechny testy na simulátoru přerušovaného řezu probíhaly při konstantní hloubce třísky $a_p = 1\text{ mm}$, dvou řezných rychlostech $v_c = 408\text{ m/min}$, $v_c = 580\text{ m/min}$ a 4 posuvech $f = (0,16 - 0,20 - 0,25 - 0,31)\text{ mm}$. Sledovaným parametrem byl potom počet rázů R , který byl přepočten z obrobené délky jednotlivou destičkou. Celkem lze z provedených zkoušek řezné keramiky ISCAR pro oba obráběné říci, že počet rázů klesá se zvyšujícím se posuvem a je nižší u vyšší zkoušené řezné rychlosti.

Pro obráběný materiál 15 128 dosáhly všechny 4 druhy řezné keramiky ISCAR pro nižší řeznou rychlost $v_c = 408\text{ m/min}$ maximální počet 6000 rázů, výjimku tvořila pouze bílá oxidová keramika IN11 při nejvyšším posuvu. U vyšší řezné rychlosti $v_c = 580\text{ m/min}$ počty rázů se zvyšujícím se posuvem prudce klesaly. Pouze nitridová keramika IS8 vydržela max. počet rázů téměř pro všechny posuvy, tudíž vykazovala nejvyšší houževnatost při přerušovaném řezu pro obráběný materiál 15 128.

U obráběného materiálu lišt 12 050 byly počty rázů pro všechny testované druhy řezné keramiky ISCAR celkově nižší, což naznačilo horší obrobitelnost tohoto materiálu. Pro nižší řeznou rychlost na tom byla o trochu lépe oxidová keramika IN11 a IN22. U vyšší řezné rychlosti vykazovala nejvyšší houževnatost bílá oxidová keramika IN11, prudký pokles počtu rázů, tedy nižší houževnatost při přerušovaném řezu byl naměřen u černé oxidové keramiky IN22. Nitridové keramiky IS8 a IS80 na tom byly s houževnatostí přibližně stejně.

Dalším důležitým poznatkem bylo zjištění rozdílné strmosti klesání počtu rázů se zvyšujícím se posuvem pro oba obráběné materiály, které se projevilo u všech testovaných druhů řezné keramiky přibližně stejně. U obráběného materiálu 15 128 počet rázů strměji klesal u vyšší řezné rychlosti, pro obráběný materiál 12 050 počet rázů strměji klesal u nižší řezné rychlosti.

Co se týkalo akustického zhodnocení během testování VBD řezné keramiky ISCAR při přerušovaném řezu, byl zaznamenán zvukový rozdíl mezi oxidovou a nitridovou keramikou. Oxidová keramika IN11 a IN22 se projevovala při obrábění ostřejším, jasnějším zvukem, zatímco nitridová keramika IS8 a IS80 měkčím, tlumeným zvukem.

Dalším významným faktorem byly rozdíly teplot destičky těsně po obrábění. Nejteplejší byla silikon nitridová destička bez povlaku IS8, což značí její vyšší tepelnou vodivost v porovnání s ostatními zkoušenými druhy keramiky ISCAR.

Závěrem lze říct že, nejlepších výsledků, tedy houževnatosti při přerušovaném řezu dosáhla silikon nitridová keramika IS8, která je sama výrobcem ISCAR doporučovaná pro přerušovaný řez, tedy frézování.

Seznam použité literatury

- [1] ČEP, Robert. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu*. Disertační práce. Ostrava: FS VŠB-TUO, 2005, 101 s.
- [2] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno: MM Publishing Praha, 2008, 235s. ISBN 978-80-254-2250-5.
- [3] HUMÁR, Anton. *Technologie I, Technologie obrábění – 1. část*. Vysoké učení technické, ústav strojírenské technologie. Brno, 2003, 138 s.
- [4] HOUDEK, Josef. *Odolnost slinutých karbidů proti teplotním a mechanickým rázům* [online]. MM Průmyslové spektrum, 4/2004 [cit. 16. března 2009]. URL: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/odolnost-slinutych-karbidu-proti-teplotnim-a-mechanickym-razum> >
- [5] VASILKO, Karol. *Analytická teória trieskového obrábanie*. 1.vyd. Prešov 2007. 338s. ISBN 978-80-8073-759-7.
- [6] JURKO, Jozef; ZAJAC, Jozef; ČEP Robert. *Top trendy v obrábění 2. část – Nástrojové materiály*. Žilina: MEDIA/ST Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [7] ŠKABRAHA, Stanislav. *Obrábění kalených materiálů řeznou keramikou* [online]. MM průmyslové spektrum, 12/2008 [cit. 12. dubna 2009]. URL: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-kalenych-materialu-reznou-keramikou> >
- [8] MAŤEJKA, J.; ČESÁNEK, J.; KŘÍŽ, A. *Vývojové trendy v oblasti řezné keramiky. Vrstvy a povlaky 2005*. Trenčín: DIGITAL GRAPHIC, 2005. 133-136 s. ISBN 80-969310-1-6.
- [9] MRKVICA, M.; BILÍK, O.; SIKORA, R.; *Spolehlivost a diagnostika nástrojových materiálů v podmínkách přerušovaného řezu. Závěrečná zpráva o řešení grantového projektu GAČR č. 101/93/0129 za rok 1993 - 1995*. Ostrava: FS VŠB - TUO Ostrava. 1995. 34 s.
- [10] BILÍK, O.; VLČEK, M. *Testování nástrojových materiálů s vyšší křehkostí v podmínkách přerušovaného řezu*. Zpráva o řešení interního grantového projektu za rok 2000. Ostrava: FS VŠB – TU Ostrava, 2000. 22 s.

- [11] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika*. Brno: CCB Brno, 1995. 460 s. ISBN 04-246-86
- [12] ISO 3685: 1990 - *Tool Life Testing with Single Cutting Tools*. 1990.
- [13] PFEILER, P. *Testování nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu: Diplomová práce*. Ostrava FS VŠB-TU Ostrava, 2008. 64 s.
- [14] JUROŠ, M. *Zkoušky houževnatosti vyměnitelných břitových destiček z řezné keramiky při přerušovaném řezu: Diplomová práce*. Ostrava FS VŠB-TU Ostrava 2008. 47 s.
- [15] WHITNEY, E. DOW. *CERAMICS CUTTING TOOLS – Materials, Development and Performance*. Gainesville: Notes Publications, 1994. 353 s ISBN 0-8155-1355-0.
- [16] ISCAREX s.r.o. *Přehled řezných materiálů ISCAR* [online]. 2009. Soubor v PDF. [cit. 27. dubna 2009]. URL
< http://www.iscarex.cz/picture/novinky/pdf/iscar_rezne_mater_2008.pdf >
- [17] ISCAR. *New ceramic grades from ISCAR* [online]. 2009 [cit. 27. dubna 2009]. URL
<<http://www.iscar.com/PressReleases/PressRelease.asp/CountryID/1/PressReleaseID/16/MenuItemID2/484> >